

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

**Optimalizace parametrů technologie GMAW-135 pro robotické
svařování**

Optimization GMAW-135 Welding Technology for Robotic Welding

Student:

Bc. Pavel Snášel

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Vladislav Ochodek

Ostrava 2016

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Snášel**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Optimalizace parametrů technologie GMAW-135 pro robotické svařování**
Optimization GMAW-135 Welding Technology for Robotic Welding
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor použitých základních materiálů a technologií.
2. Proveďte rozbor vlivu základních technologických parametrů na kvalitu svarových spojů.
3. Navrhněte a realizujte experimentální program se zaměřením na ověření vybraných svařovacích parametrů na kvalitu svarového spoje.
4. Proveďte diskusi dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

ASM. Handbook vol. 6, *Welding, Brazing, Soldering*. ASM 2001.
KOPŘIVA, R. *Technológia zvarovania v ochranných plynoch metódou MIG/MAG*. ZEROSS, 1993.
ASNIS, A., GUTMAN, M. *Svařování ve směsi aktivních plynů*. SNTL 1988.

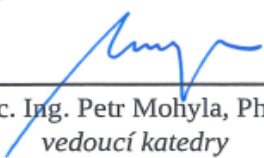
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vladislav Ochodek**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016




doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Mistopřisežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16.5.2016


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB - TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB.TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 16.5.2016



podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Pavel Snášel

Adresa trvalého pobytu autora práce: Sudkov 16, 788 21 Sudkov

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

SNÁŠEL, P. *Optimalizace parametrů technologie GMAW-135 pro robotické svařování: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – technická universita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2016, 45 s. Vedoucí práce: Ing. Vladislav Ochodek

Diplomová práce se zabývá optimalizací svařovacích parametrů pro robotické svařování. V úvodu práce je popsána charakteristika svařovaných konstrukcí a použitých materiálů. Je provedena studie svařitelnosti použitých ocelí. Jsou popsány druhy NDT kontrol svarových spojů ocelových konstrukcích. Je proveden rozbor přenosů kovu při svařování GMAW. Jsou popsány druhy ochranných plynů pro svařování GMAW. Cílem diplomové práce bylo ověřit parametry svařování pro zvolené velikosti jednovrstvých koutových svarů ve velikostech a3 až a6 v poloze PB a velikostech a3 až a4 v poloze PG. Experiment byl proveden na zkušebních vzorcích o tloušťce materiálu 8 mm z běžných konstrukční ocelí S235JR a S355J2. Vyhodnocení vzorků bylo provedeno vizuální zkouškou a provozní zkouškou makrostruktury.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

SNÁŠEL, P. *Optimization GMAW-135 Welding Technology for Robotic Welding: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2016, 45 p. Thesis head: Ing. Vladislav Ochodek

This thesis deals with the optimization of the welding parameters for robotic welding. The introduction describes the characteristics of welded structures and materials used. It is a study of weldability of steel used. They described the types of NDT inspection of welds steel structures. It analyzed metal transfer in GMAW welding. They described the types of shielding gases for welding GMAW. The aim of the thesis was to verify the welding parameters for the selected size of single-layer fillet welds in sizes from A3 to A6 in PB position and A3 to A4 in the PG position. The experiment was carried out on specimens of the material thickness of 8 mm normal structural steel S235JR and S355J2. Evaluation of the samples was done by visual examination and operational test macrostructure.

Obsah

ÚVOD	10
1 CHARAKTERISTIKA SVAŘOVANÝCH KONSTRUKCÍ.....	12
1.1 Charakteristika použitých materiálů.....	13
1.1.1 Ocel S235JR.....	13
1.1.2 Ocel S355J2.....	14
1.2 Svařitelnost ocelí	15
1.3 Kontroly	16
1.3.1 Vizuální kontrola.....	17
1.3.2 Penetrační zkouška.....	17
1.3.3 Magnetická prášková zkouška	17
1.3.4 Zkoušení ultrazvukem	18
2 ROZBOR TECHNOLOGIÍ.....	19
2.1 Přenos kovu v oblouku.....	19
2.1.1 Krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu.....	19
2.1.2 Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem.....	21
2.1.3 Přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty (kapkový)	21
2.1.4 Dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem	22
2.1.5 Impulsní bezzkratový přenos	22
2.1.6 Moderovaný bezzkratový přenos	23
2.1.7 Dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu	23
2.2 Ochranné plyny	24
2.2.1 Oxid uhličitý.....	24
2.2.2 Kyslík	25
2.2.3 Směsné plyny argon + 15 - 25% CO ₂	25
2.2.4 Směsný plyn argon + 8 % CO ₂	26
2.2.5 Směsné plyny Ar + 5 - 13 % CO ₂ + 5 % O ₂	26

2.2.6 Vliv plynů na stabilitu elektrického oblouku	26
2.2.7 Vliv na přenos tepla a profil svarové housenky	26
2.3 Svařovací zařízení	27
2.3.1 Phoenix 405 Progress puls MM TDM	28
2.3.1 Svařovací robotizované pracoviště Yaskawa Motoman NX 100 se zdroji Fronius TransPuls Synergic 4000.	29
2.4 Přídavný materiál OK ARISTOROD 12.50.....	30
3 NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍHO PROGRAMU	32
3.1 Zkušební vzorky.....	34
3.2 Kontrola zkušebních kusů	35
3.2.1 Vizuální kontrola.....	35
3.2.1 Provozní zkouška makrostruktury.....	35
4. Výsledky experimentu.....	36
4.1 Zhodnocení výsledků	40
ZÁVĚR.....	41
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	42
SEZNAM PŘÍLOH	45

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A JEDNOTEK

ZNAK	VELIČINA	JEDNOTKA
Al	hliník	[hm. %]
Ar	argon	-
A5	minimální tažnost	-
C	uhlík	[hm. %]
CEV	uhlíkový ekvivalent	[%]
CO ₂	oxid uhličitý	-
Cr	chrom	[hm. %]
Cu	měď	[hm. %]
ČSN	Česká státní norma	-
EN	Evropská norma	-
EXC2	třída provedení konstr. prvků	-
f	frekvence impulsů	[Hz]
f _L	síťová frekvence	[Hz]
Fe	železo	[hm. %]
GMAW	(Gas metal arc. welding) americká zkratka pro metody MIG a MAG	-
G _{tav}	navarovací výkon	[kg.hod ⁻¹]
He	helium	[hm. %]
HV	tvrdost podle Vickerse	-
I	svařovací proud	[A]
ISO	mezinárodní organizace pro normalizaci	-
KV	minimální nárazová práce	[J]
MAG	(Metal Activ Gas) svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře aktivního plynu	-
MIG	(Metal Inert Gas) svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu	-
Mn	mangan	[hm. %]
Mo	molybden	[hm. %]
N	dusík	[hm. %]
NDT	nedestruktivní zkoušení	-
Ni	nikl	[hm. %]

O ₂	kyslík	-
P	fosfor	[hm. %]
P	tlak	[MPa]
PB	poloha svař. vodorovná šikmo shora	-
P _{ch}	výkon chlazení	[W]
PG	poloha svař. svislá dolů	-
P _p	připojovací výkon	[kVA]
Q	průtok plynu	[l.min ⁻¹]
R _{eH}	minimální mez kluzu	[MPa]
R _m	pevnost v tahu	[MPa]
S	síra	[hm. %]
Si	křemík	[hm. %]
TOO	teplem ovlivněná oblast	-
T _p	doba trvání impulsů	[ms]
Ti	titan	[hm. %]
U	svařovací napětí	[V]
V	vanad	[hm. %]
v _p	rychlost posuvu drátu	[m.min ⁻¹]
111	svařování obalenou elektrodou	-
131	technologie MIG	-
135	technologie MAG	-
ρ	hustota	[kg.m ³]

ÚVOD

Jedním z nejrozšířenějších materiálů pro výrobu konstrukcí je ocel. Ta vyniká vysokou pevností při nižší celkové hmotnosti konstrukce proti jiným stavebním materiálům. Díky variabilitě tohoto materiálu lze z oceli realizovat konstrukce nepřeborných tvarů a velikostí. Velkou výhodou je rychlost montáže. Celá stavba se totiž skládá z prefabrikovaných součástí, které se na stavbě smontují do jednoho velkého celku. Výroba ocelových konstrukcí také nepodléhá sezonním vlivům. A to především díky průmyslovému zpracování jednotlivých stavebních prvků. Ocelové konstrukce lze také relativně snadno rekonstruovat a modernizovat. U výrobních hal je přínosná variabilita stavby a rozvodů inženýrských sítí a to s ohledem na modernizaci a změnu výrobních technologií.

Svařování technologií GMAW, je nejrozšířenější technologií při svařování ocelových konstrukcí. Je levnější a produktivnější než svařování obalenou elektrodou (111). To je sice nadále využíváno, ale zejména u montážních svarů. Zdroj je malý a lehce přenositelný. Technologie MIG/MAG (131/135), je dobře mechanizovaná. Mechanizované je podávání drátu a přísun ochranného plynu. Moderní zdroje, jsou samy schopny v průběhu svařování do určité míry optimalizovat parametry svařování. Jsou tak kladeny nižší nároky na zručnost svářeče oproti ostatním metodám svařování. Díky dobré mechanizaci lze tuto technologii snadno automatizovat. To je výhodné právě teď, kdy je všeobecně velký nedostatek zaměstnanců. Roste tedy poptávka po kvalifikovaném personálu, a s rostoucí poptávkou logicky vzrůstá i cena práce. Zaměstnavatelé se proto snaží nahrazovat velký podíl lidské práce nějakým druhem mechanizace. To ale není vždy možné, a ne vždy je to ekonomicky rentabilní.

Automatizaci lze dobře uplatnit při výrobě stavebních prvků ocelových konstrukcí. Zejména díky konstrukční standardizaci součástí. Robotické svařování je nejvhodnější pro výrobu velkých součástí s dlouhými svary, u kterých se výhody automatizace projevují nejzřetelněji. Robotické svařování klade vysoké požadavky na přesné upínací přípravky, které nejsou zanedbatelnou položkou při plánování výroby a propočtu nákladů. Z vyšších nákladů na přípravu výroby vyplývá, že se robotizované svařování vyplácí až při větších počtech kusů.

Cílem této práce je ověřit a optimalizovat nastavení parametrů robotického svařování, pro svařování běžných konstrukčních ocelí. Důvodem k ověření parametrů je přechod na nový přídatný materiál s jiným průměrem drátu. Hlavním argumentem pro změnu

přídavného materiálu byla výhodnější cenová nabídka, za značkový přídavný materiál, který budí větší důvěru u zákazníků. Byly zvoleny různé velikosti jednovrstvých koutových svarů s ohledem na druhy vyráběných konstrukcí. Experiment bude prováděn pro polohu svařování svislá dolů a pro polohu vodorovná šikmo shora. Pro porovnání výsledků budou vedle robotického svařování vytvořeny i vzorky pomocí ručního svařování. Kvalita spojů bude ověřena vizuální zkouškou dle ČSN EN ISO 5817. A provozní zkouškou makrostruktury pro určení průvaru a geometrie svaru. Výsledné hodnoty ověří kvalitu spojů u používaných parametrů svařování.

1 CHARAKTERISTIKA SVAŘOVANÝCH KONSTRUKCÍ

Výroba je zaměřena na realizaci sportovních a průmyslových hal, různých tvarů a velikostí. Konstrukce jsou tvořeny velkým počtem opakujících se stavebních dílů. Pro které jsou typické dlouhé jednovrstvé koutové svary a tloušťky materiálů pohybující se od 3 do 12 mm. Díky konstrukční standardizaci součástí se zvyšuje sériovost výroby. Ta spočívá zejména v malých sériích, které se opakují podle typu vyráběné stavby.

Konstrukce jsou vyráběny z běžných konstrukčních ocelí v jakostech S235JR a S355J2 značené dle ČSN EN 10025-2. Antikorozní povrchovou vrstvu obvykle tvoří žárový zinek. V mnohých případech je výsledná konstrukce halového objektu složena s ocelových a dřevěných architektonických prvků.

Celková produkce putuje téměř výlučně do zahraničí.



Obr.1.1 *Příklady spojů* [3].



Obr.1.2 *Ocelová konstrukce* [3].

1.1 Charakteristika použitých materiálů

1.1.1 Ocel S235JR

Ocel S235JR je nelegovaná jakostní konstrukční ocel. Je svařitelná obvyklými metodami svařování. Se vzrůstající tloušťkou materiálu a vzrůstající hodnotou uhlíkového ekvivalentu je možný výskyt studených trhlin v oblasti svaru [1].

Tab.1.1 Chemické složení hotového výrobku [1].

Označení		Chemické složení, hmotnostní [%]					
Druh oceli		C	Si	Mn	P	S	N
Značka	Číselné označení	max.	max.	max.	max.	max.	max.
S235JR	1.0038	0,19	-	1,5	0,045	0,045	0,014

Tab.1.2 Mechanické vlastnosti pro podélný směr zkoušení [1].

Minimální mez kluzu R_{eH} [MPa]	Pevnost v tahu R_m [MPa]	Minimální tažnost A5 [%]	Minimální nárazová práce KV [J]
235	360 až 510	26	27

Uhlíkový ekvivalent CEV má pro tuto ocel S235JR hodnotu 0,35 [1].

1.1.2 Ocel S355J2

Stejně jako u předchozí oceli se jedná o nelegovanou jakostní konstrukční ocel. Svařitelnou obvyklými metodami svařování. Se vzrůstající tloušťkou materiálu a vzrůstající hodnotou uhlíkového ekvivalentu je možný výskyt studených trhlin v oblasti svaru [1].

Tab.1.3 Chemické složení hotového výrobku [1].

Označení		Chemické složení, hmotnostní [%]					
Druh oceli		C	Si	Mn	P	S	N
Značka	Číselné označení	max.	max.	max.	max.	max.	max.
S355J2	1.0577	0,23	0,60	1,70	0,035	0,035	-

Tab.1.4 Mechanické vlastnosti pro podélný směr zkoušení [1].

Minimální mez kluzu R_{eH} [MPa]	Pevnost v tahu R_m [MPa]	Minimální tažnost A5 [%]	Minimální nárazová práce KV [J]
355	470 až 630	22	27

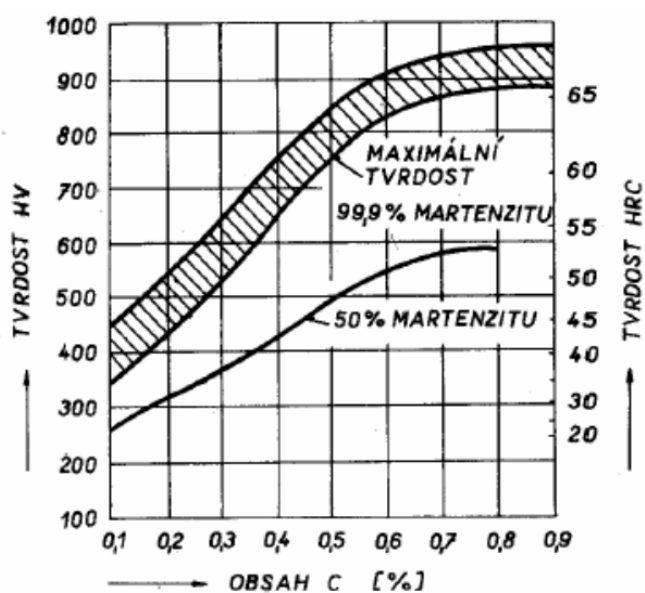
Uhlíkový ekvivalent CEV má pro tuto ocel hodnotu 0,45 [1]

1.2 Svařitelnost ocelí

Oceli jakostí S235JR a S355J2 patří do uhlíkových ocelí. Podle normy ČSN EN 10027-1 jsou určeny pro ocelové konstrukce pro všeobecné použití.

Svařitelnost uhlíkových ocelí je dána zejména jejich chemickým složením. To bývá garantováno výrobcí pro obsahy prvků C, Si, Mn, P, S a N. Z uvedených prvků je svařitelnost nejvíce ovlivňována obsahem uhlíku. Tvrdost, mez kluzu a mez pevnosti rostou spolu se zvyšujícím se obsahem uhlíku. Rostoucí podíl uhlíku zároveň snižuje plastické vlastnosti oceli a roste tvrdost vznikajícího martenzitu. Během svařování se zvyšuje dispozice k zakalení, a zvyšuje se tendence ke vzniku studených trhlin v teplem ovlivněné oblasti svarového spoje.

Tvrdost je závislá na obsahu uhlíku v oceli a procentu martenzitu ve struktuře. Vše je patrné z obrázku číslo 1.3. Pro dosažení maximální dovolené tvrdosti TOO nesmí obsah uhlíku v oceli přesáhnout 0,25% a obsah martenzitu ve struktuře 50%. Maximální přípustná tvrdost v teplem ovlivněné oblasti je stanovena na 350 HV [9].



Obr.1.3 Závislost tvrdosti svarového spoje na obsahu uhlíku v oceli a na procentu martenzitu ve struktuře teplem ovlivněné oblasti [9].

Materiály menších tloušťek do 0,25% obsahu uhlíku není třeba předehřívat. Mezními hodnotami tloušťek ocelí svařitelných bez předehřevu se zabývá norma ČSN EN 1011-2. Předehřev se aplikuje především kvůli zamezení tvorby studených trhlin. Teplota předehřevu se určuje nejen podle chemického složení, ale také podle velikosti obsahu

difuzního vodíku a do výpočtu také vstupuje tuhost konstrukce. Stanovení teploty přehřevu udává norma ČSN EN 1011-2. Dohřev je nutný pouze u materiálů velkých tloušťek a u materiálů s vyšším obsahem difuzního vodíku.

Podobný efekt jako teplota přehřevu může mít svařování s vyšším tepelným příkonem a to díky teple vnesenému do okolí čímž se zpomalí ochlazování. [9][10].

Tato práce se zabývá svařováním konstrukcí z materiálů menších tloušťek a obsahem uhlíku do 0,25%. V praxi se proto při výrobě svařenců neaplikuje přehřev, ani dohřev.

1.3 Kontroly

Výroba svařovaných ocelových konstrukcí probíhá dle ČSN EN 1090-2 a ČSN EN 1090-2+A1, s certifikací pro třídu provedení konstrukčních prvků EXC2. Certifikát určuje všeobecná kritéria přípustnosti svarových spojů podle stupně C s výjimkami pro úroveň D, které se hodnotí vady jako: dotyk elektrody, díra kráteru konce svaru, zápal a překrytí. Systém jakosti je řízen podle ČSN EN ISO 9001:2009 ve spojení s ČSN EN ISO 3834-2:2006. Kritéria přípustnosti jsou hodnocena dle EN ISO 5817 [11][12].

Pracovník provádějící nedestruktivní zkoušení svarových spojů, musí být držitelem certifikátu pro danou metodu zkoušení. Kvalifikace se dělí do tří stupňů dle ČSN EN ISO 9712.

Stupeň 1 je základním stupněm kvalifikace, pracovník s tímto stupněm kvalifikace může provádět zkoušky podle instrukcí, a pod dozorem pracovníka s vyšším stupněm kvalifikace. Zkoušky nesmí vyhodnocovat a nesmí vystavovat protokoly. Za zkoušku zodpovídá osoba s vyšším stupněm kvalifikace.

Pracovník s certifikátem pro stupeň 2 může podle daných postupů řídit a provádět zkoušky, které pak může vyhodnocovat. Výsledky vyhodnocuje podle aktuálních specifikací, pravidel a norem. Z výsledků vystavuje zkušební protokol.

Stupeň 3 je nejvyšším stupněm kvalifikace, pro který může být pracovník certifikován. Poté je oprávněn vést a realizovat libovolnou činnost v nedestruktivním zkoušení. To však platí jen pro metody, ve kterých je certifikován [13][14].

V praxi je nejrozšířenější stupeň 2. Zaměstnanec provádějící NDT, přímo vystavuje protokoly o provedené zkoušce.

1.3.1 Vizuální kontrola

Vizuální zkouška je základem nedestruktivního zkoušení. Kontrolují se povrchové vady, tvar a rozměry. Kontrolu lze provádět přímo, tedy pouhým okem. Nepřímo se zkouška provádí pomocí optických přístrojů, a to v případech nepřístupných vnitřních povrchů nebo kvůli ochraně zdraví pracovníka. Vady a jejich mezní hodnoty jsou všeobecně posuzovány pro stupeň kvality C s výjimkami pro stupeň D, dle ČSN EN ISO 5817. Stupeň kvality je předepsán třídou provedení konstrukčních prvků EXC2 [14].

1.3.2 Penetrační zkouška

Kapilární zkouškou se zjišťují vady bezprostředně zasahující do povrchu zkoušené součásti. Vyplývá to z fyzikálního principu zkoušky. Při zkoušení proniká kapilárně aktivní kapalina takzvaný penetrant do necelistvostí. Potom co se z povrchu součásti odstraní přebytek penetrantu, začne zbytek, který ulpěl v necelistvostech vzlínat do nanesené vývojky, která vady zvýrazní. Průběh kapilární zkoušky stanovuje norma ČSN EN ISO 3452-1. Hodnocení vad probíhá dle ČSN EN ISO 5817. Pomocí kapilárního zkoušení se detekují povrchové trhliny, studené spoje, póry a zápaly. U malých tloušťek svarů se penetrační metodou hodnotí i těsnost spoje [14].

1.3.3 Magnetická prášková zkouška

Zkouška lze provádět pouze na feromagnetických materiálech. Zkoušení spočívá ve změně magnetických vlastností v místě necelistvosti, kde dochází k takzvanému rozptylu. Odchýlení magnetického toku z předpokládané dráhy. Na materiál je nanášen feromagnetický prášek, který je přitahován do místa rozptylu, čímž označí obrys vady. Na zkoušený předmět může být nanesena podkladová barva, která kontrastně zvýrazní magnetický prášek.

Magnetickou práškovou metodou se zjišťují povrchové vady, ale lze detekovat i vady těsně pod povrchem zkoušeného materiálu. Techniku zkoušení určuje norma ČSN EN ISO 17638. Vady jsou posuzovány dle ČSN EN ISO 5817 [14].

1.3.4 Zkoušení ultrazvukem

Ultrazvuková zkouška vyžaduje pro hodnocení vad, pracovníka ve kvalifikačním stupni 2. Důvodem je náročnost prováděného zkoušení. Pracovník musí dobře znát technologii a její princip. Potřebné jsou i praktické zkušenosti a dobrá prostorová představivost.

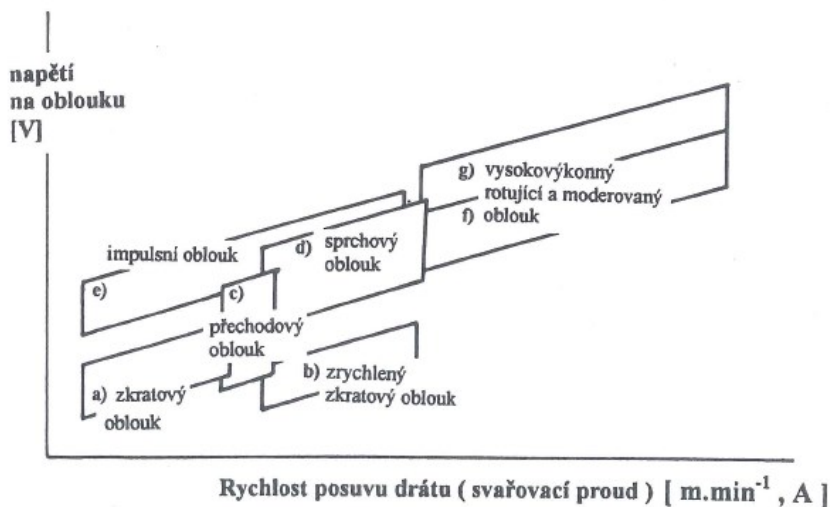
Zkoušení se předepisuje ve výkresové a technické dokumentaci podle požadavků zákazníka, nebo podle norem. Zkoušení ultrazvukem specifikuje norma ČSN EN ISO 17640 a je aplikována ve spojitosti s normou EN ISO 11666. Norma EN ISO 11666 určuje stupně přípustnosti, na které navazují stupně kvality dle normy ČSN EN 5817, stupeň B a C. Zkouška se musí provádět na očištěném materiálu. Nečistoty jako rozstřík, rez, nátěr nebo okuje zamezují pohybu sondy a přestupu ultrazvukových vln do materiálu. Způsobilost povrchu se před zkoušením stanovuje vizuální zkouškou a zkouškami ke zjišťování povrchových vad [14] [15].

2 ROZBOR TECHNOLOGIÍ

2.1 Přenos kovu v oblouku

Základní charakteristikou svařování elektrickým obloukem tavící se elektrodou je přenos kovu v oblouku. Přenos nejvíce určují dva základní parametry, a to elektrické napětí a proud. Přenos také ovlivňuje přídavný materiál, technologie svařování a složení ochranného plynu [5].

- a) krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu,
- b) krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem,
- c) přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty,
- d) dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem,
- e) impulzní bezzkratový oblouk,
- f) moderovaný bezzkratový přenos,
- g) dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu.



Obr. 2.1 Rozdělení oblastí přenosu kovů v oblouku [5].

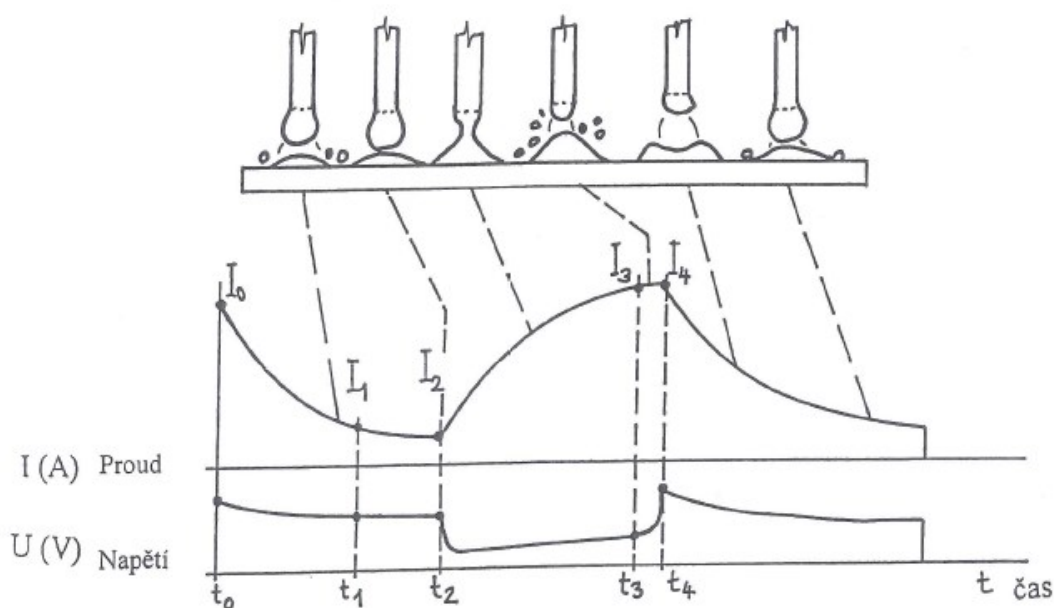
2.1.1 Krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu

Zkratový přenos probíhá v rozpětí svařovacího napětí 14 až 22 V a proudu od 60 do 180 A. Navařovací výkon bývá 1- 3 kg.hod⁻¹. Během přenosu je oblouk přerušován zkratem, čímž se odděluje kov z elektrody.

Velký rozstřík kapek a malá frekvence jejich oddělování jsou výsledkem nízkého proudu a vysokého napětí (25V až 30V). Pokud použijeme drát o průměru 1,2 mm při svařovacím napětí 27 V, bude frekvence oddělování přibližně pět kapek za sekundu. Pokud se sníží napětí na hodnoty kolem 14 až 18V vzroste počet zkratů na 150 až 200 za sekundu.

Při zkracující délce oblouku, se díky posunu, drát dříve přiblíží ke zkratu s tavnou lázní, čímž se zmenší růst kapky kovu. Díky povrchovému napětí taveniny je kapka kovu rovnoměrně rozptýlena ve svarové lázni [5].

Průběh zkratového přenosu je znázorněn na obrázku 2.2. Přenos začíná v bodě t_0 při proudu I_0 kdy nastává zapálení oblouku. Jakmile klesne proud na hodnotu I_1 dochází k ohřívání svarové lázně teplem oblouku. V okamžiku, kdy v bodě I_2 dojde ke styku drátu s povrchem svarové lázně, začne exponenciálně stoupat proud kvůli zkratu. Vše závisí na indukčnosti obvodu. Zároveň se sníží napětí na minimální hodnotu. Mezi body t_2 až t_4 se drát ohřívá odporovým teplem, díky čemuž se kapka snáze odděluje v úseku I_3 a I_4 . Při nejvyšší hodnotě proudu přibližně 250 až 300 A. Zásadní příčinou rozstříku kovu je oddělování kapky za vysoké intenzity proudu. Stálým zhasínáním oblouku je do svaru vneseno méně tepla, díky čemuž se zmenšují deformace od svařování [5].



Obr. 2.2 Průběh napětí při zkratovém přenosu [5].

Aby mohl probíhat zkratový přenos, musí mít stroj vhodné dynamické vlastnosti a umožňovat proudovou špičku o žádoucí velikosti. Svařování zkratovým přenosem poznáme podle stálého praskavého tónu. Vysoký proud se projevuje hrubým

nepravidelným praskáním. Vysoké svařovací napětí se vyznačuje hluboce měkkým zvukem. Zkratový přenos kovu je možné využívat při svařování ve všech ochranných atmosférách.

Zkratový přenos se nejčastěji používá při svařování tenkých plechů, kořenu u tupého svaru, svařování v polohově umístěných svarů, vyvařování širších mezer a svařování vysokolegovaných ocelí [5].

2.1.2 Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem

Tento druh přenosu je charakteristický svými neobvyklými kritérii. Hodnoty napětí jsou stejné jako u přenosu zkratového. Rychlost podávání a velikost proudu nad 200A jsou v oblasti sprchového přenosu kovu. Navařovací výkon 3 až 10 kg.hod⁻¹ také odpovídá sprchovému přenosu. Během přenosu je drát velkou podávací rychlostí vtlačován do svarové lázně pod velkým úhlem sklonu hořáku. Vysoká zkratová frekvence znemožňuje tvorbu velké kapky jako u zkratového přenosu. Drát se při výletu 20 až 30 mm dostatečně ohřeje odporovým teplem při vysokém proudu, a díky magnetickým silám se oddělí ve svarové lázni. Kvůli vzdálenosti trysky a sklonu hořáku musí být nastaven vysoký průtok plynu 20 až 30 l.min⁻¹.

Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem svařuje s vysokou rychlostí a vysokým výkonem navařování tenké plechy od jednoho milimetru, také se ním svařují kořenové svary a svary v poloze. Pro malý rozstřík, dobrý profil housenky a bez zachytávání odlétajících kapek na povrchu svařovaného materiálu se svařuje v ochranné atmosféře směsi plynu Ar + 8% CO₂ [5].

2.1.3 Přejížděcí dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty (kapkový)

Přenos probíhá za obvyklých hodnot. Proud je nastaven na 190 až 300A a napětí je v rozmezí 22 až 28V. Během svařování se díky vysokému proudu nataví konec elektrody do velké kapky. Kapka se vlivem reakčního tlaku par vyduje mimo osu svařovacího drátu, oblouk poté magnetickými silami přeruší můstek a kapka je mrštěna do svarové lázně vysokou rychlostí. Frekvence kapek je malá 5 až 40 za sekundu. Nejvíce se přejížděcí oblouk projevuje s ochrannou atmosférou CO₂ který způsobuje vlivem velkého povrchového napětí velký rozstřík. Velký rozstřík je způsobován nepravidelnými zkraty a vymrštěním kapky mimo osu. Použití je možné u středních tloušťek materiálů. Kvůli hrubé housence a rozstříku se jeho použití nedoporučuje [5].

2.1.4 Dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem

Dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem je realizovatelný ve směsích plynů $\text{Ar} + \text{CO}_2$ nebo O_2 . Čistý Argon se používá na svařování neželezných kovů. Svařovací proud se pro tento druh přenosu pohybuje od 200 do 500 A a napětí od 28 do 48 V. V bohaté směsi Argonu se urychluje ohřev drátu díky ionizaci plynu, při které obepíná plazma i konec elektrody. Ohřev drátu urychluje i odporové teplo u dlouhého výletu drátu. Magnetické pole svým působením odstřihává drobné kapičky, které osově urychluje vysokou frekvencí 150 až 350 Hz a směřují do svarové lázně. Proud zůstává konstantní během celého průběhu oddělování kapky. Jen v bodě přerušení můstku lze pozorovat menší zvýšení proudu. Oblouk tedy nezhasíná z čehož vyplývá, že se do základního materiálu bude přenášet značný objem tepla. Sprchový přenos se díky tomu vyznačuje hlubokým závarem rostoucím lineárně s proudem, vyrovnaným hořením oblouku a velkým výkonem navařování 3 až 12 kg.hod⁻¹. Sprchový přenos se projevuje syčením a občasným prasknutím. Přejít housenky do základního materiálu je plynulý bez rozstřiku a housenka je hladká a čistá. Kritéria přenosu se volí podle průměru drátu. Využití tohoto přenosu je pro vyplňovací housenky svarů o středních a velkých tloušťkách. Velký objem tavné lázně předurčuje tento druh přenosu hlavně pro svařování ve vodorovné poloze [5].

2.1.5 Impulsní bezzkratový přenos

Svařovací parametry se v oblastech sprchového a zkratového přenosu překrývají. Průběh impulsního přenosu obloukem je řízen elektronicky s pravidelnou frekvencí rozkmitu impulsního proudu. Ionizaci sloupce oblouku a vedení proudu udržuje základní nízký proud 20 až 50 A. Nastavovaný proud je tvarově i časově řízen, odtavování kapky přídavného materiálu probíhá v konečné fázi amplitudy. Po celou dobu amplitudy hoří intenzivně oblouk, čímž je ohříván přídavný materiál a svarová lázeň. Tvar amplitudy proudu bývá nejčastěji pravoúhlý nebo oblý. Různě tvarované amplitudy mají nové svařovací stroje, a to podle druhu přídavného materiálu. Rozměr kapky je udržován na stejné úrovni díky závislosti impulzů na proudu. Pro dosažení správné velikosti kapky je třeba vysoká frekvence impulsů při svařování vysokým proudem a nízká frekvence impulsů pro nízký proud. Frekvence impulsů (f)[Hz], se spočítá z doby trvání impulsů (T_p)[ms]. Čas trvání pulsu se nejčastěji pohybuje od 0,2 do 5 ms a frekvence impulsů od 25 do 500 Hz [5].

$$f = \frac{1}{T_p} \text{ [Hz]} \quad (1)$$

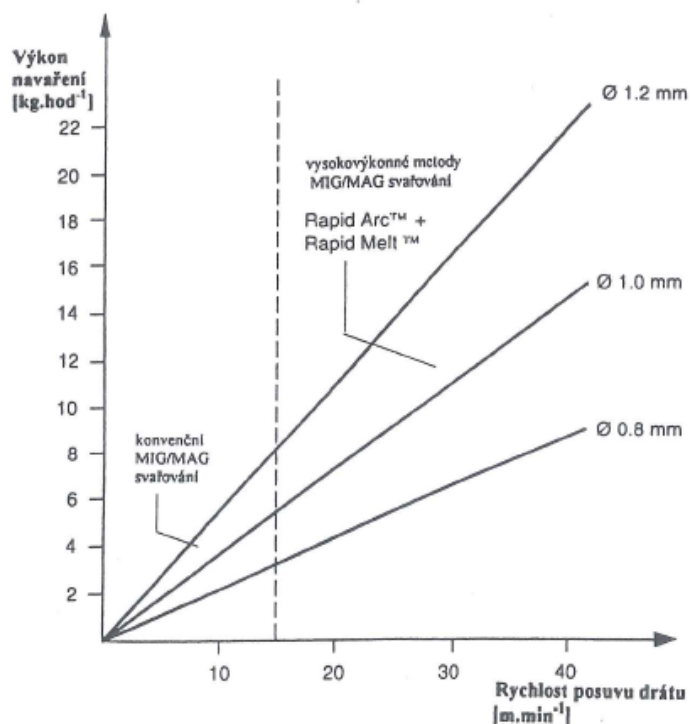
2.1.6 Moderovaný bezzkratový přenos

Pokud výrazně zvýšíme napětí a proud je oblast hoření oblouku posunuta do sféry vysokého výkonu svařování. Pro moderovaný bezzkratový přenos jsou typické svařovací proudy od 450 do 750 A, napětí 40 až 50 V. Z vysokých parametrů vyplývá i vysoká rychlost posuvu svařovacího drátu 20 až 45 m.min⁻¹. Výkon odtavení je až 25 kg.hod⁻¹. Jako ochranný plyn se používá směs argonu a 8 % oxidu uhličitého. Průtok bývá 18 až 25 l.min⁻¹. Přenos utváří velké kapky odpovídající velikosti drátu, ty se odtavují o vysoké frekvenci z volného konce elektrody. Tavnou lázeň tvarují do úzkého a hlubokého závaru kapky, které jsou do svarové lázně urychlovány o vysoké rychlosti. Vysoké parametry umožňují vysokou rychlost svařování u materiálu o velké tloušťce [5].

2.1.7 Dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu

Kritéria jsou skoro stejná jako u Moderovaného bezzkratového přenosu. Volná délka je větší než 20 mm. Napětí na oblouku je zvýšené na 65 V. Velká volná délka drátu a vysoká intenzita proudu způsobuje přehřev drátu odporovým teplem skoro na teplotu tavení. Konec svařovacího drátu je v plastickém stavu vlivem intenzivního silového magnetického pole roztáčen a utváří kuželovou plochu odtavujícími se kapkami kovu. Kvalitní závar do stran svarové plochy je umožněn rotujícím obloukem. Svar je široký a hluboký s miskovitým profilem.

Znázornění vlivu rychlosti posuvu drátu a výkonu navaření obrázek 2.3 [5].



Obr. 2.3 Porovnání vlivu rychlosti posuvu drátu a výkonu navaření [5].

2.2 Ochranné plyny

Pro svařování GMAW jsou velmi důležité ochranné plyny. Ty mají za úkol ochránit tavnou lázeň od okolní atmosféry. Mechanické vlastnosti svarových spojů jsou výrazně zhoršovány nitridací a oxidací, které způsobuje přítomnost vzduchu. Díky ionizačním schopnostem ochranných plynů dochází ke stabilnímu hoření oblouku a k lepšímu přenosu tepla do svaru. Ochranné plyny také podle svého složení a množství ovlivňují intenzitu rozstříku, rychlost svařování, profil svaru a hloubku závaru a způsob jakým probíhá přenos svarového kovu v oblouku. Mezi nejčastěji používané plyny při svařování metodou MAG (135) patří buď čistý CO₂ a nebo směsné plyny kde tvoří základní prvek argon, a k němu jsou přimíchávány plyny jako CO₂, O₂, He [5].

2.2.1 Oxid uhličitý

Oxid uhličitý je nehořlavý plyn, těžší než vzduch s hustotou 1,976 kg.m³. Díky své hustotě tvoří CO₂ dobrou ochranu atmosféru zejména při svařování ve vodorovné poloze, v poloze vodorovně šikmo shora a vodorovně shora. CO₂ vyniká vysokou tepelnou vodivostí a s pomocí exotermických oxidačních reakcí napomáhá ke kvalitnímu natavení

svarových hran, odplynění svarové lázně a hlubokému průvaru. CO₂ vytváří na nataveném konci elektrody vysoké povrchové napětí, které k sobě přitahuje odtavující se kapky. Kapky kvůli tomu odlétávají až po zvětšení objemu, kdy už je povrchové napětí neudrží. Odlétávajícími kapkami je pak znečišťován okolní materiál, a musí se pracně čistit.

Povrch housenky je nepravidelný s ostrým přechodem do okolního materiálu a vyšším převýšením. Ke svařování bývá používán čistý oxid uhličitý (min. 99,5%). Ostatní příměsi jsou tvořeny vlhkostí a nečistotami. Se snižujícím se tlakem plynu dochází k jeho navlhčení. K největšímu navlhčení plynu a riziku pórovitosti svarů dochází při poklesu tlaku plynu pod 1 MPa.

Při svařování s oxidem uhličitým jsou používány redukční ventily s vlastním elektrickým ohřevem. Během svařování by jinak docházelo k zamrznutí ventilů, které způsobuje expanze a odpařování plynu [5].

2.2.2 Kyslík

Kyslík je plyn, který je těžší než vzduch s hustotou 1,429 kg.m³. I když je nehořlavý, tak podporuje oxidační hoření. Obdobně jako dusík a argon, je kyslík vyráběn destilací zkapalněného vzduchu. Kyslík je přidáván do směsných plynů z důvodu zlepšení odplynění a přechodu svarového kovu do základního materiálu. Zvyšuje totiž povrchové napětí svarového kovu a tekutost svarové lázně. Kyslík také zlepšuje profil svaru. Obvykle je používán ve směsích s argonem, oxidem uhličitým, nebo heliem [5].

2.2.3 Směsné plyny argon + 15 - 25% CO₂

Nejpoužívanější směsí plynu je argon s 18% oxidu uhličitého. Tento směsný plyn se používá při svařování běžných konstrukčních ocelí a nízkolegovaných ocelí. Vyniká dobrými vlastnostmi, jakými jsou stabilní hoření oblouku a hluboký závar. Lze jej použít při sprchovém i zkratovém přenosu a výhodou je malý rozstřík. Povrch svaru je hladký a dobrý je i přechod do základního materiálu. Argon s 18% CO₂ lze použít pro všechny tloušťky plechů [5].

2.2.4 Směsný plyn argon + 8 % CO₂

Ar + 8% CO₂ se používá při svařování vysokými proudy a pro svařování metodami s vysokým výkonem svařování. Tento směsný plyn nejlépe vyhovuje impulsnímu a sprchovému přenosu kovu. Charakteristickým znakem pro tento směsný plyn je drobný rozstřík a malá tvorba strusky. Dalšími charakteristickými znaky je vysoká rychlost svařování a plochý svar. Ar + 8% CO₂ je použitelný pro všechny tloušťky plechů, pro automatizované i ruční svařování [5].

2.2.5 Směsné plyny Ar + 5 - 13 % CO₂ + 5 % O₂

Nejčastěji se tento směsný plyn používá při automatizovaném a robotickém svařování při svařování materiálů středních a menších tlouštěk. Svary jsou čisté bez nerovností. Svařovací proces probíhá klidně a elektrický oblouk je měkký. Využívá se výhod, které poskytuje obsah kyslíku ve směsném plynu. Sprchový přenos může probíhat i při nízkém svařovacím proudu [5].

2.2.6 Vliv plynů na stabilitu elektrického oblouku

Ochranné plyny zajišťují stabilní hoření oblouku během všech druhů přenosu kovu. Svařování s čistým Ar není vhodné pro svařování běžných konstrukčních ocelí. Kvalita svaru je špatná, zejména kvůli neklidně hořícímu oblouku. Aby bylo dosaženo dobrého průvaru, pravidelné housenky a odpovídajících mechanických vlastností bez pórů, musí během svařování docházet k oxidačním reakcím. K oxidačním reakcím dochází za přítomnosti kyslíku, nebo oxidu uhličitého. A přítomnost těchto prvků je důležitá i při svařování nerezových chromniklových ocelí. Čistým argonem se svařují neželezné kovy, u kterých je oxidace nepřipustná. Oxid uhličitý má oproti argonu horší zapalování a ionizační schopnost. Výhody argonu a oxidu uhličitého se nejvíce projevují ve směsích. Elektrický oblouk pak vyniká vysokou stabilitou a pravidelností hoření oblouku [5].

2.2.7 Vliv na přenos tepla a profil svarové housenky

Rozdílná tepelná vodivost ochranných plynů ovlivňuje teplo přenesené do svaru, které má vliv na profil svarové housenky. Při svařování s čistým CO₂ (MAG) je charakteristický oválný profil svarové housenky s hlubokými širokým profilem, těchto charakteristik je

dosaženo díky velmi dobrému přenosu tepla do svaru. Nevýhodou je vznik vrubů a trhlin ve středu svaru při ochlazování, při použití vyšších svařovacích parametrů. Vlastnosti ochranných plynů a jejich porovnání jsou na obrázku č. 2.4 [5].

Vlastnosti	Ar + CO ₂	Ar + O ₂	CO ₂
Závar - Svar <ul style="list-style-type: none"> poloha vodorovná shora ostatní polohy 	dobrý spolehlivější s rostoucím % CO ₂	dobrý může být kritický z důvodu předbíhání svarové lázně	dobrý spolehlivý
Tepelné zatížení hořáků	vysoké, snižuje se s rostoucím % CO ₂	vysoké, výkon může být omezen, jestliže je hořák příliš horký	nízké díky dobré tepelné vodivosti
Stupeň oxidace	nízký, stoupá s rostoucím % CO ₂	výrazně závisí na obsahu O ₂ (1 – 8%)	vysoký
Porozita	snižuje se s rostoucím obsahem CO ₂	vysoká citlivost	spolehlivá
Přemostitelnost mezery	zlepšuje se s poklesem % CO ₂	dobrá	horší než u směsných plynů
Tvorba rozstříku	stoupá s rostoucím % CO ₂	téměř bez rozstříku	vysoká, stoupá s rostoucím výkonem
Vnášení tepla do svaru	stoupá s rostoucím % CO ₂ nižší rychlost ochlazování menší vznik nebezpečí trhlin	nejnižší vysoká rychlost ochlazování, nebezpečí vzniku trhlin větší	vysoké malá rychlost ochlazování, nebezpečí vzniku trhlin malé
Typ přenosu kovu obloukem	všechny typy	všechny typy	zkratový, kapkový

Obr. 2.4 Vlastnosti a porovnání ochranných plynů [5].

2.3 Svařovací zařízení

K výrobě jsou používány svařovací přístroje od různých renomovaných výrobců. Pro modelové spoje vyhotovené ručním svařováním k porovnání s výsledky robotu, byl zvolen modulární invertorový svařovací přístroj Phoenix 405 Progress puls MM TDM od firmy EWM. Jedná se o nejmodernější svařovací stroj, který byl pořízen z důvodu rozšíření výrobních kapacit a nahrazení některých dosluhujících strojů. Proto se jedná i o vhodný reprezentativní vzorek pro ruční svařování. Robotické pracoviště disponuje dvěma robotickými rameny Motoman se svařovacími zdroji Fronius TransPuls Synergic 4000. U obou zařízení se využívá ochranný směsný plyn s obsahem 82% Argonu a 18% CO₂. Plyn je ze zásobníkového sila a směšovače dopravován ke svářečkám centrálním rozvodem plynu.

2.3.1 Phoenix 405 Progress puls MM TDM

Impulsní svařovací invertor, s odděleným přesným čtyř kladkovým podavačem drátu. S možností nastavení dvoutaktního a čtyřtaktního druhu provozu. U obou druhů provozu je možnost použít přednastavený optimalizovaný program pro začátek a konec tvorby kráterů. S možností nastavování parametrů přes dálkový ovladač [2].

Tab.2.1 Technické údaje Phoenix 405 [2].

Rozsah nastavení svařovacího proudu	5A – 400 A
Napětí naprázdno	80 V
Síťová frekvence	50 Hz / 60 Hz
Maximální připojovací výkon	17,5 kVA
Doporučený výkon generátoru	25 kVA
Účinník $\cos \varphi$	0,99
Rychlost posuvu drátu	0,5 m/min – 25 m/min
Výkon chlazení	1000 W (1 l/min)



Obr. 2.5 Phoenix 405 Progress puls MM TDM [2].

2.3.1 Svařovací robotizované pracoviště Yaskawa Motoman NX 100 se zdroji Fronius TransPuls Synergic 4000.

Robotizované pracoviště Yaskawa Motoman se dvěma odděleně pracujícími rameny a dvěma otočnými pracovními stoly. Robot je přímo určený pro svařování stavebních prvků jako jsou sloupy, nosníky. Zejména díky svým rozměrům, délce 6 metrů a šířce 10 m. Momentálně bylo kvůli požadavkům výroby pracoviště přepaženo a pracuje v režimu dvou oddělených robotizovaných pracovišť. Ramena svařovacího robotu jsou vybavena digitálními svařovacími zdroji Fronius TransPuls Synergic 4000, ovládanými pomocí mikroprocesoru. S možností volby krátkého, sprchového a impulzního oblouku pro nejlepší svařovací možnosti. Díky svým vlastnostem disponují dobrou reprodukovatelností výsledků svařování [4].

Tab. 2.2 Technické údaje Synergic 4000 [4].

Rozsah nastavení svařovacího proudu	3A – 400 A
Napětí naprázdno	70 V
Pracovní napětí	14,2 – 34 V
Síťová frekvence	50 Hz / 60 Hz
Trvalý primární výkon	12,2 kVA
Účinník $\cos \varphi$	0,99
Rychlost posuvu drátu	0,5 m/min – 25 m/min



Obr. 2.6 Robotizované pracoviště Yaskawa Motoman pohled č.1 (foto autor).



Obr. 2.7 Robotizované pracoviště Yaskawa Motoman pohled č.2 (foto autor).

2.4 Přídavný materiál OK ARISTOROD 12.50

Svařovací drát pro svařování nelegovaných konstrukčních ocelí obvyklých jakostí, nepoměděný. Nejčastěji používaný v robotizovaných a mechanizovaných pracovištích, vhodný pro svařování s vysokými parametry a rychlostmi podávání.

Firma používá na všech svařovacích přídavný materiál o průměru drátu 1 mm. Svařovací robot používá 250 kg sudové balení přídavného materiálu. Svářečky pro ruční svařování používají cívky o hmotnosti 18 kg.[6].

Tab.2.3 Chemické složení [6].

Chemické složení [%]						
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
0,081	1,44	0,86	0,014	0,011	0,03	0,03
Mo	V	Cu	Al	Fe	Zr+Ti	-
0,005	0,002	0,04	0,002	zbytek	0,006	-

Tab.2.4 Mechanické vlastnosti. Zkouška tahem [6].

Teplota [°C]	Minimální mez kluzu R_{eH} [MPa]	Pevnost v tahu R_m [MPa]	Minimální tažnost A5 [%]
+20	470	560	26

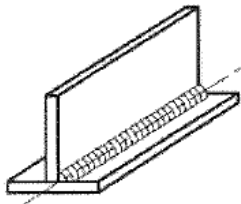
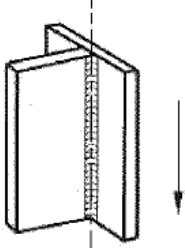
Tab.2.5 Mechanické vlastnosti. Zkouška rázem [6].

Teplota [°C]	Minimální nárazová práce KV [J]
+20	130
-20	90
-30	70
-40	60

3 NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍHO PROGRAMU

Cílem experimentálního programu je stanovit maximální velikost jednovrstvého koutového svaru. Zkouška má ověřit a optimalizovat svařovací parametry robotizovaného pracoviště. Kvalita svaru bude ověřena vizuální zkouškou a provozní zkouškou makrostruktury. Pro porovnání výsledků budou svařeny vzorky ručním svařováním.

Vzorky pro jednovrstvý koutový svar budou svařovány ve vodorovné poloze šikmo shora PB a v poloze svisle dolů PG dle normy ČSN EN ISO 6947. Celkově bude robotem svařeno 12 vzorků. Budeme se snažit ověřit hodnoty pro výšku svaru dle ČSN EN 22 553 rozměr a, od 3 do 6 mm ve vodorovné poloze šikmo shora. A výšku svaru a, od 3 do 4 mm v poloze svařování svisle dolů. Pro každou hodnotu bude svařen jeden zkušební vzorek a to z jakosti S235JR a S355J2. Pro porovnání výsledků bude svařena stejná sada zkušebních kusů ručním svařováním. Navržené svařovací parametry jsou uvedeny v tabulce číslo 3.1. Hodnoty jsou uvedeny dle návrhu svářeče a programátora robota. Při samotném zkoušení pak budou hodnoty odečteny z displeje na svařovacím zdroji. Rychlost svařování robota je dána již při nastavování parametrů. Rychlost svářeče určíme během pokusu, přepočtem doby svařování vzorku. Předpokladem je, že svářeč bude pomalejší než robot.

Znázornění	Polohy svařování podle AWS A3.0 ^[4] ASME Sekce IX ^[5]	Polohy svařování podle této mezinárodní normy
 poloha vodorovná šikmo shora	2F	PB
 poloha svislá dolů	3F dolů	PG

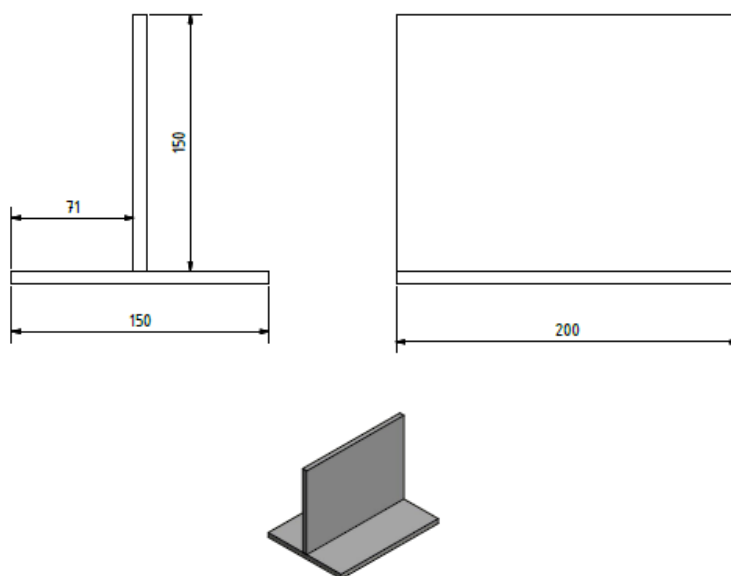
Obr. 3.1 Polohy svařování vzorků [7].

Tab.3.1 Návrh svařovacích parametrů.

	číslo	Poloha svař. ČSN EN ISO 6947	Jakost	Vel. svaru	Rychlost svař. [cm/min]	Svař. proud I [A]	Svař. napětí U [V]	Odhad Způsobí- losti svaru
Robotické svařování	1	PB	S235JR	a3	44	160-170	24	Ano
	2	PB	S355J2	a3	44	160-170	24	Ano
	3	PB	S235JR	a4	41	200-210	26	Ano
	4	PB	S355J2	a4	41	200-210	26	Ano
	5	PB	S235JR	a5	38	220-230	26	Ano
	6	PB	S355J2	a5	38	220-230	26	Ano
	7	PB	S235JR	a6	29	250-260	27	Ano
	8	PB	S355J2	a6	29	250-260	27	Ano
	9	PG	S235JR	a3	44	170-180	24	Ano
	10	PG	S355J2	a3	44	170-180	24	Ano
	11	PG	S235JR	a4	44	210-220	26	Ne
	12	PG	S355J2	a4	44	210-220	26	Ne
Ruční svařování	13	PB	S235JR	a3	<44	230-240	26	Ano
	14	PB	S355J2	a3	<44	230-240	26	Ano
	15	PB	S235JR	a4	<41	210-220	25	Ano
	16	PB	S355J2	a4	<41	210-220	25	Ano
	17	PB	S235JR	a5	<38	260-270	28	Ano
	18	PB	S355J2	a5	<38	260-270	28	Ano
	19	PB	S235JR	a6	<29	240-250	27	Ne
	20	PB	S355J2	a6	<29	240-250	27	Ne
	21	PG	S235JR	a3	<44	200-210	20	Ne
	22	PG	S355J2	a3	<44	200-210	20	Ne
	23	PG	S235JR	a4	<44	200-210	20	Ne
	24	PG	S355J2	a4	<44	200-210	20	Ne

3.1 Zkušební vzorky

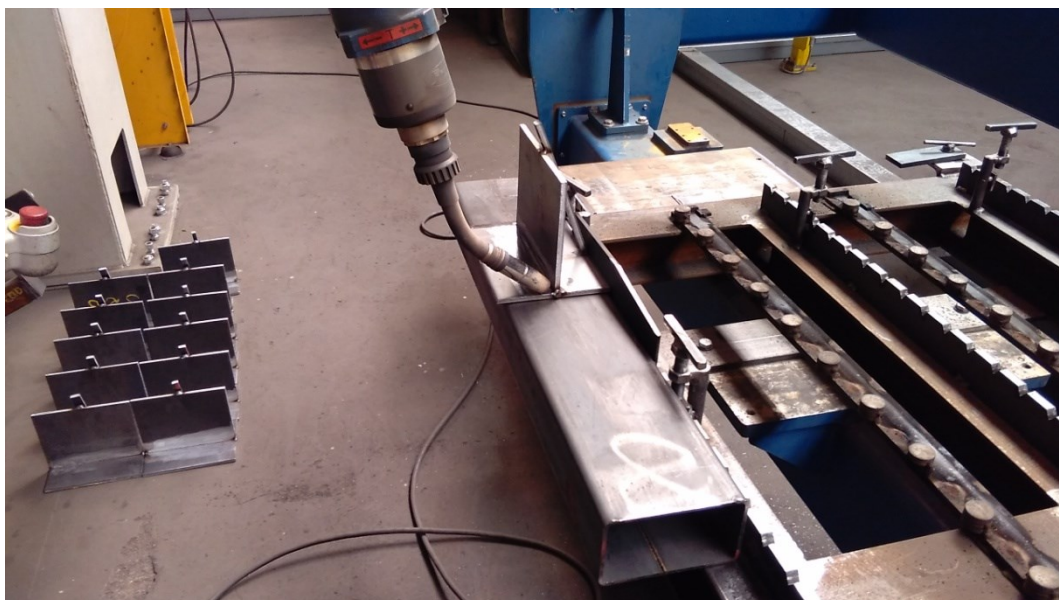
Velikost a tvar zkušebních kusů byl navržen pro T-spoj. Délka základní desky je 200 mm a šířka 150 mm. Na základní desku bude koutově přivařena deska o stejné délce s šířkou 150 mm. Vše je patrné z obrázku 3.2. Velikost vzorku by měla být optimální, za účelem ověření vlastností. Tloušťka materiálu je zvolena dle charakteru zkoušky a vyráběných konstrukcí, 8 mm. Při vlastním zkoušení byl zkušební kus doplněn o vzpěru, kvůli deformacím vzniklým od svařování. Aby byla dodržena kolmost k sobě svařovaných desek.



Obr. 3.2 Tvar a rozměry zkušebního kusu.



Obr. 3.3 Příprava zkušebních kusů (foto autor).



Obr. 3.4 Fotografie z přípravy zkušebního svařování (foto autor).

3.2 Kontrola zkušebních kusů

3.2.1 Vizuální kontrola

Vizuální kontrola svaru bude prováděna podle normy EN ISO 5817. Mezní hodnoty vad budou posuzovány pro vysoký stupeň jakosti svaru. Symbol B. Hodnocení bude provedeno pracovníkem s certifikací pro kvalifikační stupeň 2 dle ČSN EN ISO 9712.

3.2.1 Provozní zkouška makrostruktury

Zkouška makrostruktury spočívá v kontrole vzorku pouhým okem, případně s menším zvětšením. Vzorek je ze zkušebního kusu odebrán příčným řezem a musí obsahovat svarový kov a tepelně ovlivněnou oblast z obou stran svarového spoje. Vzorky mohou být naleptány pro lepší viditelnost struktury. [8].

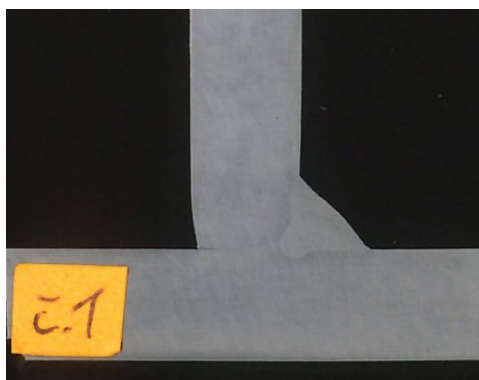
Účelem provozní makro zkoušky je zejména určení průvaru a geometrie svaru. Vzorek bude odebrán ze středu zkušebního kusu z důvodů usměrnění a stabilizování svařovacích parametrů stroje. Vzorek bude vybroušen brusným papírem o zrnitosti 400. Po vybroušení bude vzorek naleptán Nitalem pro zviditelnění struktury. Po naleptání bude vzorek opláchnut destilovanou vodou a vysušen fénem.

4. Výsledky experimentu

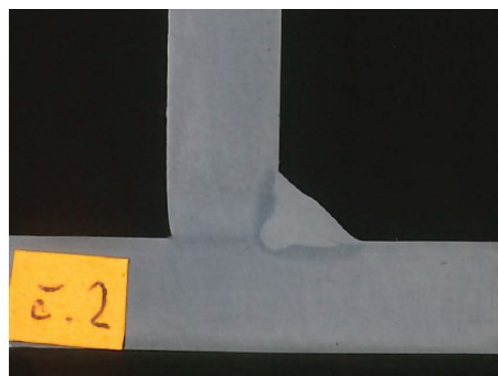
Tab.4.1 Hodnoty zjištěné během experimentu

	Vz. č.	Poloha svař. ČSN EN ISO 6947	Jakost	Velikost svaru	Rychlost svař. [cm/min]	Svař. proud I [A]	Svař. napětí U [V]	Hodnocení svaru dle EN ISO 5817
Robotické svařování	1	PB	S235JR	a3	44	163	24	Vyhověl
	2	PB	S355J2	a3	44	161	23,6	Vyhověl
	3	PB	S235JR	a4	41	210	25,9	5011, 512
	4	PB	S355J2	a4	41	200	26	Vyhověl
	5	PB	S235JR	a5	38	229	26,3	Vyhověl
	6	PB	S355J2	a5	38	226	26,3	Vyhověl
	7	PB	S235JR	a6	29	250	27,1	Vyhověl
	8	PB	S355J2	a6	29	256	27	Vyhověl
	9	PG	S235JR	a3	44	172	23,7	Vyhověl
	10	PG	S355J2	a3	44	173	23,7	Vyhověl
	11	PG	S235JR	a4	44	217	25,7	Vyhověl
	12	PG	S355J2	a4	44	217	25,7	Vyhověl
Ruční svařování	13	PB	S235JR	a3	41	234	25,8	Vyhověl
	14	PB	S355J2	a3	44	230	25,6	Vyhověl
	15	PB	S235JR	a4	35	219	24,4	Vyhověl
	16	PB	S355J2	a4	34	216	24,6	Vyhověl
	17	PB	S235JR	a5	35	263	27,6	Vyhověl
	18	PB	S355J2	a5	34	260	27,6	Vyhověl
	19	PB	S235JR	a6	19	250	27,3	Vyhověl
	20	PB	S355J2	a6	22	240	27,6	402
	21	PG	S235JR	a3	28	201	19,3	402
	22	PG	S355J2	a3	27	203	19,5	402
	23	PG	S235JR	a4	19	203	19	402
	24	PG	S355J2	a4	19	203	19,2	402

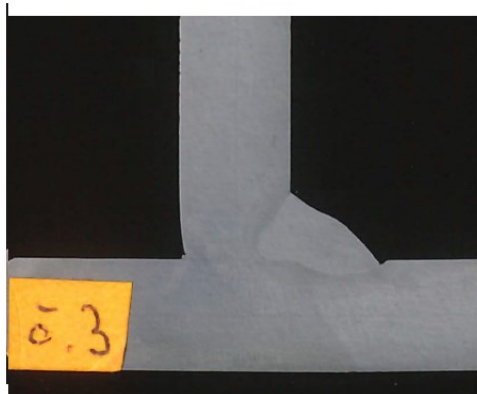
Hodnoty uvedené v tabulce jsou odečteny aritmetickým průměrem z rozptylu zaznamenaných hodnot během svařování. Pracovník s certifikací pro kvalifikační stupeň 2 dle ČSN EN ISO 9712, vyhodnotil jako nezpůsobilé vzorky č.3, č.20, č.21, č.22, č.23 a č.24. U vzorku č.3 byla zjištěna nadměrná asymetrie koutového svaru (512), a souvislý zápal $h=0,3$ mm (5011). U zbylých vzorků č.20 až č.24 byl zjištěn nedostatečný průvar (402).



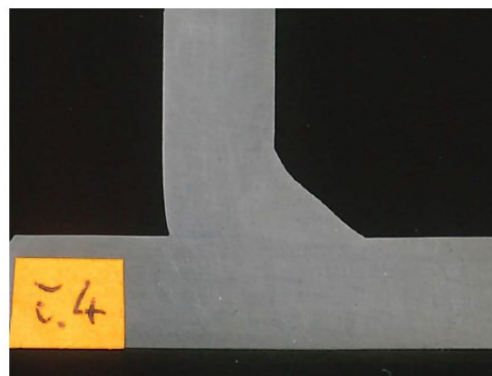
vzorek č.1 vel. a3 pol.PB Robot



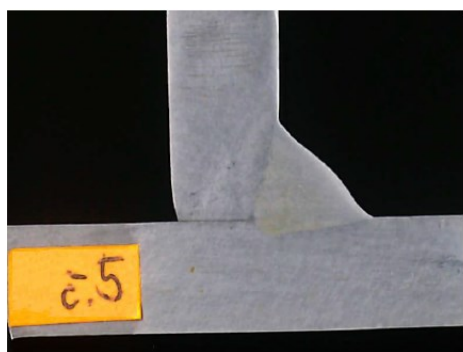
vzorek č.2 vel. a3 pol.PB Robot



vzorek č.3 vel. a4 pol.PB Robot



vzorek č.4 vel. a4 pol.PB Robot



vzorek č.5 vel. a5 pol.PB Robot



vzorek č.6 vel. a5 pol.PB Robot

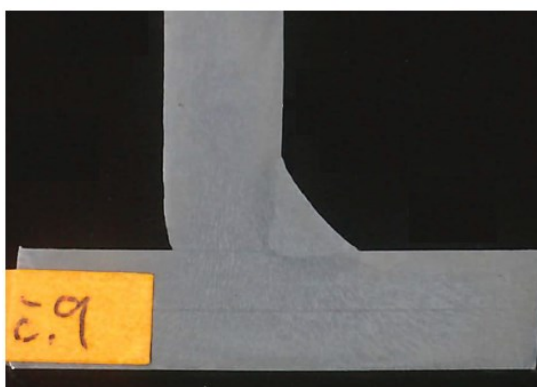
Obr.4.1 Provozní zkouška makrostruktury fotografie vzorků č.1 až č.6.



vzorek č.7 vel. a6 pol. PB Robot



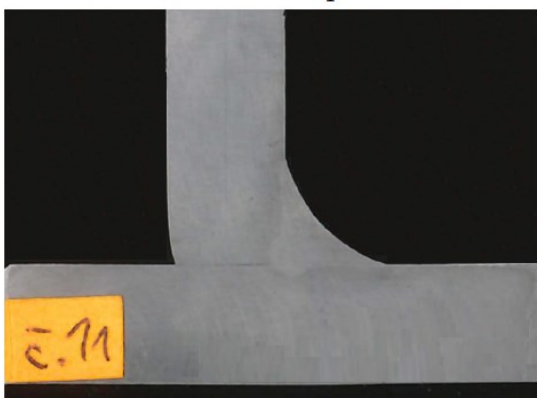
vzorek č.8 vel. a6 pol. PB Robot



vzorek č.9 vel. a3 pol. PG Robot



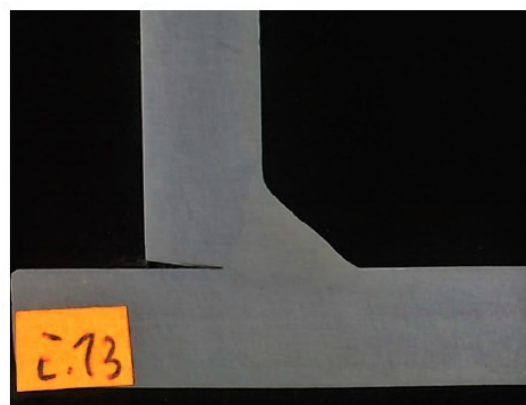
vzorek č.10 vel. a3 pol. PG Robot



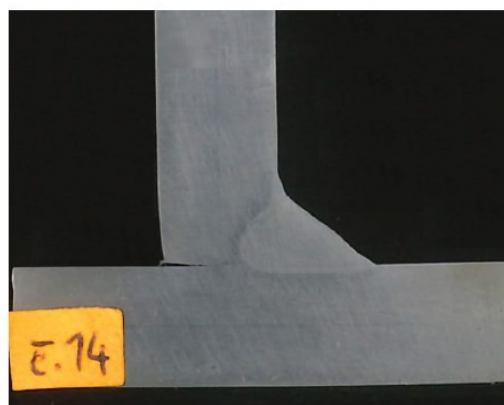
vzorek č.11 vel. a4 pol. PG Robot



vzorek č.12 vel. a4 pol. PG Robot



vzorek č.13 vel. a3 pol. PB Ručně



vzorek č.14 vel. a3 pol. PB Ručně

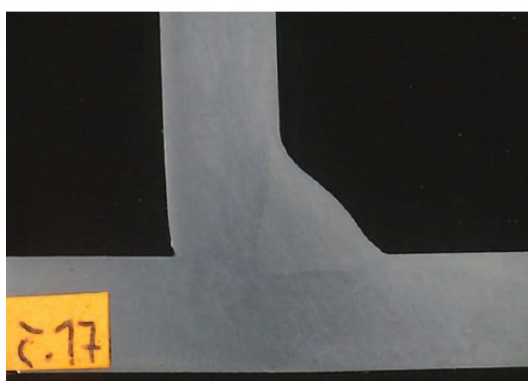
Obr. 4.2 Provozní zkouška makrostruktury fotografie vzorků č.7 až č.14.



vzorek č.15 vel. a4 pol.PB Ručně



vzorek č.16 vel. a4 pol.PB Ručně



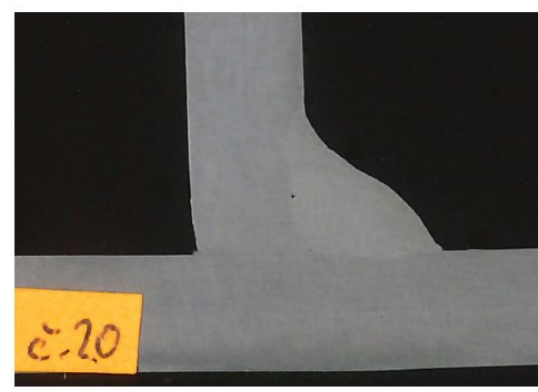
vzorek č.17 vel. a5 pol.PB Ručně



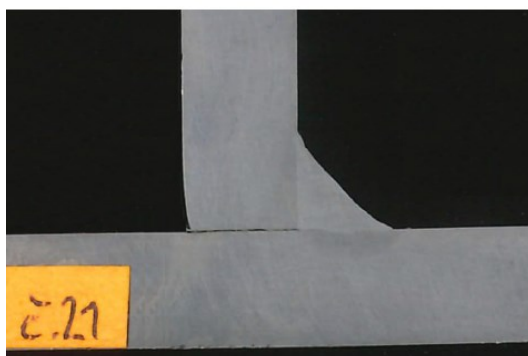
vzorek č.18 vel. a5 pol.PB Ručně



vzorek č.19 vel. a6 pol.PB Ručně



vzorek č.20 vel. a6 pol.PB Ručně

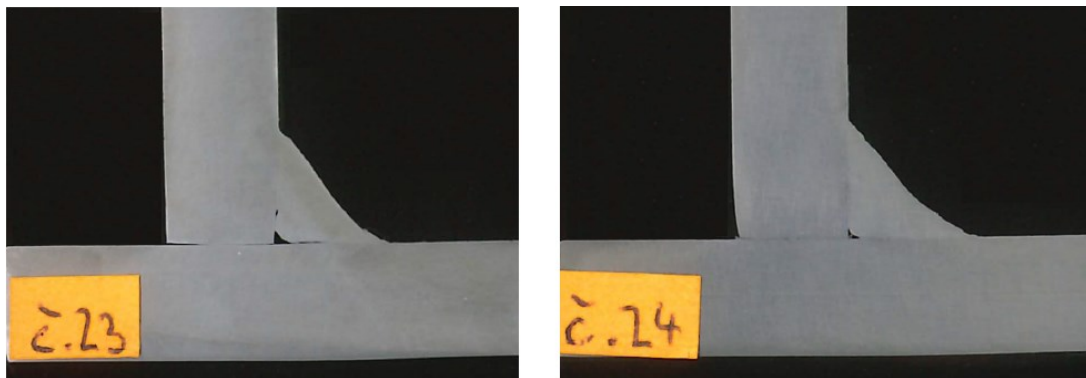


vzorek č.21 vel. a3 pol.PG Ručně



vzorek č.22 vel. a3 pol.PG Ručně

Obr. 4.3 Provozní zkouška makrostruktury fotografie vzorků č.15 až č.22.



vzorek č.23 vel. a4 pol.PG Ručně

vzorek č.24 vel. a4 pol.PG Ručně

Obr. 4.2 Provozní zkouška makrostruktury fotografie vzorků č.23 až č.24.

4.1 Zhodnocení výsledků

Celkem bylo svařeno 24 zkušebních kusů. Nejdříve byl vyroben vzorek pro velikost svaru a3 poloha PB v jakosti S235JR, a poté v jakosti S355J2. Stejným postupem byly vyrobeny zkušební kusy pro velikosti svarů a4 až a6. Nakonec byly svařeny vzorky v poloze PG ve velikostech a3 a a4. Stejný postup výroby zkušebních kusů byl použit pro robotické i ruční svařování. Kvalita a přípustnost svarových spojů byla vyhodnocena pracovníkem NDT kontroly s certifikací pro kvalifikační stupeň 2 dle ČSN EN ISO 9712. Vizuální zkouškou a provozní zkouškou makrostruktury.

Vzorky svařené robotem Yaskawa Motoman NX 100, byly vyhovující až na vzorek číslo 3. Ten nevyhověl kvůli nadměrné asymetrii svaru a kvůli souvislému zápalu. Tato vada byla vyhodnocena jako nahodilá a došlo k ní kvůli špatné poloze hořáku vůči zkušebnímu kusu. Po korekci polohy hořáku byl se stejnými parametry svařen vzorek č.4. Na vzorku číslo 4 už nebyla nalezena žádná vada. Navzdory očekávání, byly vyhodnoceny jako vyhovující vzorky číslo 11 a číslo 12 svařované robotem v poloze svislá dolů. Byla tak prokázána přednost robotizovaného svařování v pevném vedení hořáku a stabilní rychlosti.

U ručního svařování byly potvrzeny předpokládané výsledky a kvalitu svaru lze zaručit maximálně do velikosti a5 v poloze PB. V poloze PG kvalitu svaru zaručit nelze.

Experimentem byly ověřeny parametry svařování a výsledek experimentu dopadl z velké části dle očekávání.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo ověřit a optimalizovat parametry robotizovaného svařování metodou GMAW-135. Důvodem pro ověření a optimalizování parametrů byl přechod na nový značkový přídatný materiál o menší tloušťce drátu a bez povrchové vrstvy mědi.

V první kapitole byla provedena charakteristika svařovaných ocelových konstrukcí dle účelu a typu svarových spojů. Byla provedena charakteristika používaných konstrukčních ocelí S235JR a S355J2. A Byla provedena studie svařitelnosti těchto ocelí. Výroba ocelových konstrukcí probíhá dle ČSN EN 1090-2+A1, s certifikátem pro třídu provedení konstrukčních prvků EXC2. Certifikátem jsou určena všeobecná kritéria přípustnosti pro vady svarových spojů. Byly uvedeny příklady v praxi používaných NDT zkoušek a jejich vyhodnocování vyplývající z certifikace výrobce konstrukce.

Byl proveden rozbor svařovacích technologií, zaměřený na přenos kovu v oblouku. Byly uvedeny druhy používaných ochranných plynů a jejich vliv na svařování. V závěru rozboru technologií byly uvedeny typy svařovacích strojů, které jsou běžně používány ve výrobě a byly použity během experimentu. Jako zástupce ručního svařování byl uveden svařovací stroj Phoenix 405 Progress puls MM TDM, a za automatizované svařování byl uveden svařovací robot Yaskawa Motoman NX 100 se zdroji Fronius TransPuls Synergie 4000. Byl proveden rozbor přídatného materiálu OK ARISTOROD 12.50, použitého pro obě metody svařování.

Zkušební program byl navržen pro ověření jednovrstvých koutových svarů různých velikostí. V poloze PB vodorovně šikmo shora, a v poloze PG svislá dolů.

Výsledky experimentu ověřily parametry robotického svařování metodou GMAW-135. Byl stanoven rozsah použitelnosti svařovacího robotu pro danou tloušťku materiálu. Výsledky pomohly optimalizovat parametry svařování robotizovaného svařovacího stroje a budou použity při budoucím plánování výroby. Byly potvrzeny výhody robotizovaného svařování, nejvíce pak rychlost a kvalita svařování.

Použity budou i výsledky ručního svařování, a to při školení svářečského personálu. V tomto případě budou předvedeny vzorky č.21 až č.24, jako pádný důkaz toho, že v poloze šikmo shora nelze zaručit kvalitní provaření materiálu. Zejména pro svářeče, kteří si navzdory daným pravidlům myslí, že zvenku dobře vypadající svar je dobrý. Skutečnost je samozřejmě jiná. Hodnota výsledku spočívá zejména v tom, že vzorky byly vytvořeny přímo na našem pracovišti a za ideálních podmínek. Šetřit časem na úkor polohování svařence, tak není správnou cestou.

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat panu Ing. Vladislavu Ochodkovi za cenné rady a připomínky při řešení diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat svým kolegům, panu Příborskému a panu Vojáčkovi za pomoc při provádění experimentu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČSN EN 10025-2. *Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí: Část 2: Technické dodací podmínky pro nelegované konstrukční oceli*. Praha: Český normalizační institut, 2005
- [2] Phoenix 405 Progress puls MM TDM. *EMW AG we are welding* [online]. Mündersbach: EWM AG, 2016 [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: https://www.ewm-group.com/cs/ewmprodukte/geraete/migmag-pulse/phoenix.html?page=shop.product_details&flypage=ewm_flypage.tpl&product_id=457&category_id=8
- [3] Fotoarchiv firmy [cit. 2016-04-17].
- [4] TransPuls Synergic 4000. *FRONIUS ČESKÁ REPUBLIKA* [online]. Domoradice-Český Krumlov: Fronius International GmbH., 2016 [cit. 2016-02-09]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-0AF147A8-4D46ED3A/fronius_ceska_republika/hs.xml/29_1371.htm#.Vroig_nhBhE
- [5] *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 394 s. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.
- [6] OK ARISTOROD 12.50. *ESAB* [online]. Vamberg: ESAB, 2016 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.esab.cz/cz/cz/products/index.cfm?fuseaction=home.product&productCode=410843>
- [7] ČSN EN ISO 6947. *Svařování a příbuzné procesy – Polohy svařování*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011
- [8] ČSN EN ISO 17639. *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014
- [9] KOUKAL, Jaroslav a Tomáš ZMYDLENÝ. *Svařování I*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005. ISBN 80-248-0870-6.
- [10] ČSN EN 1011-2. *Svařování – Doporučení pro svařování kovových materiálů – Část 2: Obloukové svařování feritických ocelí*. Praha: Český normalizační institut, 2001
- [11] ČSN EN 1090-2+A1. *Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [12] Certifikace firmy [cit. 2016-04-26].

- [13] ČSN EN ISO 9712. *Nedestruktivní zkoušení – Kvalifikace a certifikace pracovníků NDT*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013
- [14] BARTÁK, Jiří. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2000. Svařování. ISBN 80-85771-72-1.
- [15] ČSN EN ISO 17640. *Nedestruktivní zkoušení svarů – Zkoušení ultrazvukem – Techniky, třídy zkoušení a hodnocení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [16] ČSN EN ISO 5817. *Svařování – Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (kromě elektronového a laserového svařování) – Určování stupňů kvality*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.

SEZNAM PŘÍLOH

[A] Zkušební zpráva k přídavnému materiálu OK ARISTOROD 12.50

[B] Zkušební zpráva k materiálu S235JR

[C] Zkušební zpráva k materiálu S355J2

[D] Tabulka hodnocení vad dle ČSN EN ISO 5817 [16]


ZKUŠEBNÍ ZPRÁVA ČSN EN 10204 - 2.2
TEST REPORT

Odběratel KRAKO-WELDING s.r.o.
Customer:

Nový Malín 507

788 03 Nový Malín

Obj.č./Your order No:

Zakáz.č./Our ref.:

Číslo výrobku Item no	Název výrobku Description	Množství Quantity	Jedn. Unit	LOT
1A50106910	OK ARISTOROD 12.50	1,0	1008	kg
				PV602036190B

Chemické složení/Chemical composition (%)

Drát Wire	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
	0,081	1,44	0,86	0,014	0,011	0,03	0,03
	Mo	V	Cu	Al	Fe	Zr+Ti	
	0,005	0,002	0,04	0,002	zbytek	0,006	

Zkouška tahem/Tensile test

Svarový kov Weld metal	Temp °C	Rp 0,2 N/mm 2	Re H N/mm 2	Rm N/mm 2	A5 %
	+20		470	560	28

Zkouška rázem/Impact test

Svarový kov Weld metal	Temp °C	J	Temp °C	J
	+20	130	-40	60
	-20	90		
	-30	70		

Doplňující data/Additional data

Classifications Weld Metal: EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Si1; EN ISO 14341-A: G 38 2 C1 3Si1
 Classifications Wire Elektrode: EN ISO 14341-A: G 3Si1; SFA/AWS A5.18: ER70S-6; CSA W48: ER49S-6
 CLASSIFICATIONS Wire: CAN/CSA-ISO 14341 B-G 48A 3 C G6

ESAB VAMBERK, s.r.o.,

člen koncernu

Smetanovo nábřeží 334, 517 54 Vamberk
IČ: 25268023 DIČ: CZ 25268023

Datum/Date: 17.02.2016

Adresa/Address

IČO

Telefon/Phone

Fax

ESAB VAMBERK, s.r.o., člen koncernu

25268023

+420 494 501 476

+420 494 501 423

Smetanovo nábřeží 334

517 54 VAMBERK

CZECH REPUBLIC

Zapsaná v obchodním rejstříku vedeném Krajským soudem v Hradci Králové, oddíl C, vložka 11464.

ISD DUNAFERR

Test report


ISO 9001

Page 1 (2)

				A07 Purch contract nr. 15VO00720		Modification 0	
A01 Producer's Plant: ISD DUNAFERR ZRT.,2400 DUNAÚJVÁROS, VASMŰ TÉR 1-3.		A02 Type of statement: 2.2-EN 10204-2004	B15 Validity: 2025.11.18	A10 Delivery date: 2015.11.18	A11 Date of issue: 2015.11.19	A08.1 Order No./Item: 0004215810/000002	A03 Statement No.: 0027284996/000007
		A06.1 Name of customer: BRITTERM a.s. Address of customer: Czech Republic,120 00,PRAHA 2-VINOHRAKY,Korunní 957/35				A08.2 Contract No.: 0004215810/000007	B02 Quality marking: S235JR Quality standard: EN 10025-94
A04 Metal stamp:		A06.2 Place of destination: BRITTERM S.R.O.,Czech Republic,696 85,MORAVSKY PISEK,PADELSKÁ 158.,				B01.1 Name of product: Hot rolled sheet (Plain)	
		B05 Reference (heat)treatment of samples:				B01.2 Dimension standard: EN 10051:2010	
						B01.3 Class: I.	
						C05 Place of inspection:	
B03 Supplementary requirements:						B04 Delivery terms of the product: Normalised	

IDENTIFICATION OF THE PRODUCT												
B07.1 Charge No.	C70 Steel prod. Procedure	C00 Sample No.	B07.2 Coil/Bundle No.	B08 Pieces (pc):	B12 Theoretical mass (t):	B13 Actual mass (t):	D52 Coiling temp.		B09 Width (mm):	B10 Thickness (mm):	B11 Length (mm):	B14 Total mass
661756	LD	90000496109	940981003	23	2,889	2,855			1000/+20	8	2000	10,700
661756	LD	90000496109	940981004	23	2,889	2,860			B06 Marking of the product (Z04)			
661756	LD	90000496109	940981005	23	2,889	2,865						
661756	LD	90000496109	940981006	17	2,135	2,120						

CHEMICAL INSPECTION		C71	C72	C73	C74	C75	C76	C77	C78	C79	C80	C81	C82	C83	C84	C85	C86	C87	C88	C89	C90	C91	C92	C93	C94:	
		C	Mn	Si	S	P	N	Al	Cu	Cr	Ni	V	Nb	Ti	B	Ca	Mo	O	Zr	As	Sn	W	Co	Cev		
Standard requirement min:	S235JR																									
Standard requirement max:	S235JR	0,17	1,40		0,045	0,045	0,008																			
Contract requirement min:																										
Contract requirement max:				0,030																						
Charge chemistry	661756	0,11	0,88	0,010	0,012	0,013	0,005	0,050	0,027	0,041	0,023	0,001	0,001	0,001	0,0000		0,003			0,002	0,004			0,24		
Finished product chemistry																										

MECHANICAL INSPECTION	C10		TENSILE TEST										BENDING TEST					IMPACT TEST										
			C01	C02	C04	C11	C12	C13			C14	C15	C01	C02	C04	C51	C56	C52 Result	C44	C01	C02	C04	C40-41 Type	C42 Impact 1 J	C42 Impact 2 J	C42 Impact 3 J	C43 Average J	
						Yield point	Tens.	Elongation			Contr.	Reh/R				Bend. rad. (mm)	Band angle		Temp. °C									
						tip N/mm²	N/mm²	tip	%	tip	%	%				m	mm		°									
Standard requirement min:	S235JR		4			REH	235	340	A5	24,0																		
Standard requirement max:	S235JR					REH	235	470	A5	24,0																		
Contract requirement min:						REH	235	340	A5	24,0																		
Contract requirement max:							470																					
SAMPLE (No.)	90000496109	20157076779	5	4	1	REH	310	424	A5	30,4		0,73																
	90000496109	20157076780											5	4	1	0A	180	stf										

Code according to EN 10168:2004

C10 Shape of sample: The sample is a quadratic cross-section taken from sheet in every case.

C01 Sample taken from: 5 = beginning of coil; 6 = end of coil; 7 = middle of coil; 8 = other

C02 Direction of samples: 3 = L = lengthwise; 4 = T = cross; 5 = Z = diagonal

C04 Status of samples: 1 = rolled; 2 = annealed; 3 = normalised

D01 Marking and identification, surface properties, shape and dimension properties:

Marking and identification, control of surface properties, form and measure properties are completed, the product complies with the contract requirements.

Z01 The product complies with the contract requirements.

D51 Supplementary information:

1. Radioactivity: We verify that the produced and delivered products don't increase the radioactivity in environment, the radioactivity is under the normal value of 100 Bq/kg.

2. 1N/mm2=1MPa

A05.1 Statement made by
ISD DUNAFERR Zrt.
 Minőségügyi Főosztály
 Kovács Erzsébet
 1045.

Z03 Stamp of inspection
 representative of
ISD DUNAFERR Zrt.
 Minőségügyi Főosztály
 Bogárné Nagy Magdolna
 1044.

Príloha C

12. 04. 2016 12:54:43
C-2016-254

Tuto kopii dokumentu kontroly vystavila Ferona, a.s. Původní materiál byl přepracován na rozměry uvedené v dodacím listu. Postupy v QMS zaručují spojitost mezi originálem dokumentu a dodaným výrobkem na základě těchto údajů: jednoznačný údaj pro přiřazení č. 550900700 KS Ferony č. 339023 DL č. 16/71/09731474 objednávka zákazníka č. 07/04/R1 na množství 128 KG.

Inspection certificate according to EN 10204-3.1

A02

U.S. Steel Košice, s.r.o. AG Vstupný areál U.S. Steel 044 54 Košice SLOVAK REPUBLIC		Code: 727PGRF5/09C Works Order No: XCSB2083 Advice No: 15/583896 01 Your order: 1703/KONSI		A06 A08 A10 A07	Ferona - Servis Centrum Slovakia, a.s. Priestavná 12 821 09 BRATISLAVA Slovenská republika		A09	
METALLURGICAL CERTIFICATE NO: 15/583896 01				A03	Size: 8,000 x 1000,0 EN 10051/10			B01
Desc. of goods: HEAVY PLATES IN COILS								
Standard: EN 10025-2/04		B02			B03	Net Weight: 26 250 kg		
Quality: S355J2C+N		B02	Spec. No: 22175901		A10			
Unit No	Coil No	Heat	B07	Unit No	Coil No	Heat	B07	
4492605	4492605	44926		5509007	5509007	55090		

MECHANICAL TEST RESULTS


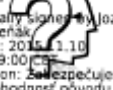
		Min. / Max.	Coil No 4492605	Coil No 5509007
C12 Rm +20°C(T)	(MPa)	470/630	589	574
C11 ReH +20°C(T)	(MPa)	355/	418	413
C13 AS +20°C(T)	(%)	20,0/	20,5	25,0
C43 KV -20°C average(L)	(J)	27/	157	170
C42 KV1 -20°C(L)	(J)	/	159	186
C42 KV2 -20°C(L)	(J)	/	160	176
C42 KV3 -20°C(L)	(J)	/	152	149

C02 Direction: (T)-transversal; (L)-longitudinal;

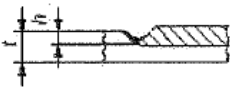
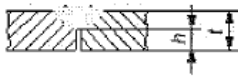
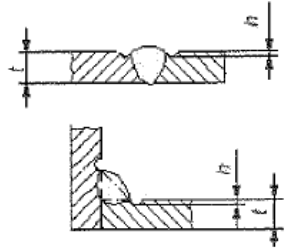
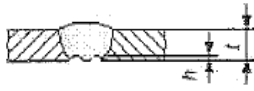
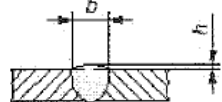
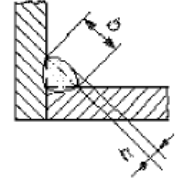
C71

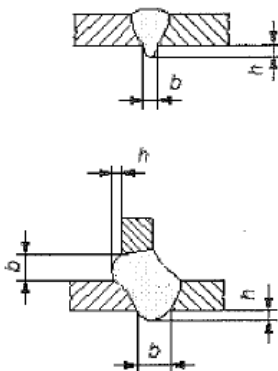

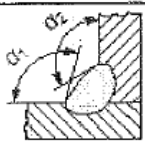
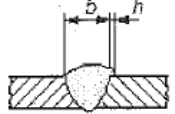
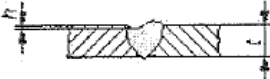
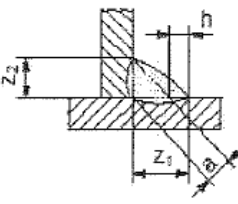
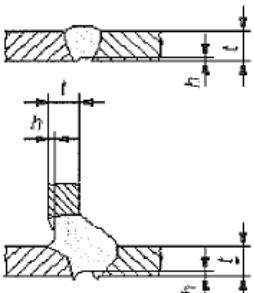
CHEMICAL COMPOSITION, %

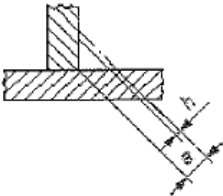
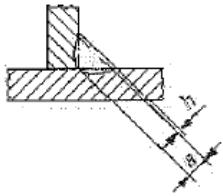
		Heat No 44926	Heat No 55090			Heat No 44926	Heat No 55090
		Min. / Max.				Min. / Max.	
C	/0,20	0,19	0,18	Mn	/1,60	1,31	1,33
Si	0,146/0,254	0,170	0,182	P	/0,025	0,012	0,014
Al	0,020/	0,043	0,046	S	/0,025	0,006	0,005
Cr	/0,30	0,02	0,03	Cu	/0,55	0,03	0,03
CEV	/0,460	0,415	0,413	Mo	/0,060	0,002	0,003
Ni	/0,30	0,01	0,01	V	/0,080	0,002	0,002

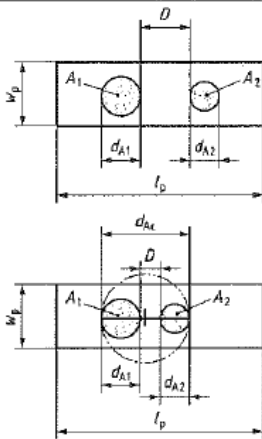
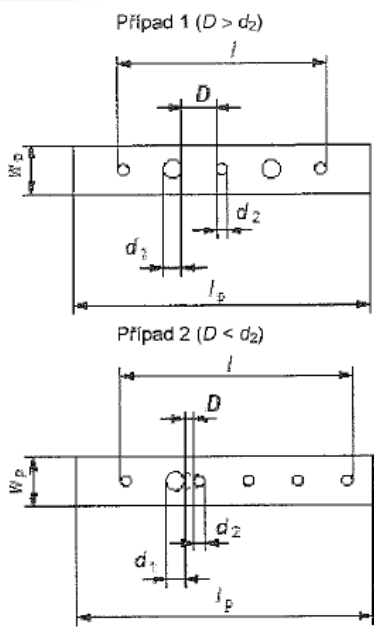
THE MATERIAL IS IN COMPLIANCE WITH ORDER REQUIREMENTS.		Z01	582	Last Page: 1
On the basis of the IAEA recommendation allowed limit of weight-based activity of a heat sample amounts up to 300 Bq/kg.		D02	P-USM/0063-04/10-01-12	
The measured weight-based activity of Co60 + Cs137 radionuclide is not higher than 100 Bq/kg.				
Z04	Z06	Z02	Z05	
 06 1015 CPR-E-30-20419-15	Certifikat podpísaný Jozef Červenák oprávnený zástupca spoločnosti Ferona Digitálny podpis: Jozef Červenák Date: 2016.11.10 08:49:00 Reason: Zabezpečuje vierohodnosť pôvodu.		U. S. Steel Košice, s.r.o. Vstupný areál U. S. STEEL Odbor Analýzy kvality a špecifikácie Uvoľňovanie výrobkov a Hútné atesty 044 54 Košice	
Košice: 10.11.2015, 7:32:20 JOSEF ČERVENÁK, AUTHORIZED INSPECTION REPRESENTATIVE. e-mail: jcervenak@sk.uss.com, tel.: +421-55-6737464 DARINA BERNÁTOVÁ, AUTHORIZED INSPECTION REPRESENTATIVE. e-mail: dbernatoval@sk.uss.com, tel.: +421-55-6732373				

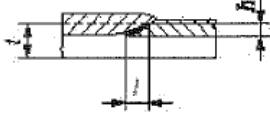
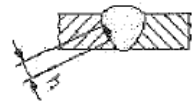
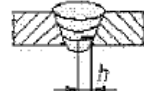
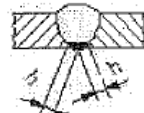
Příloha D

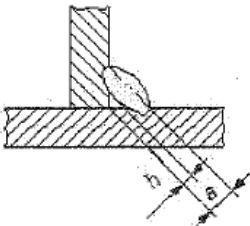
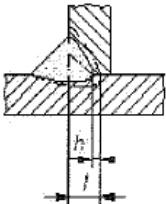
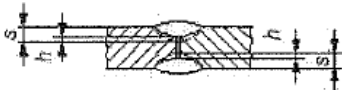
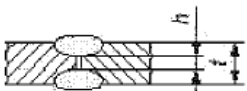
Číslo	Referenční číslo podle ISO 6520-1	Název vady	Poznámky	t mm	Mezní hodnoty vad
					B
1 Povrchové vady					
1.1	100	Trhlina		≥ 0,5	Nepřípustné
1.2	104	Kráterová trhlina		≥ 0,5	Nepřípustné
1.3	2017	Povrchový pór	Maximální rozměr jednotlivého póru pro – tupé svary – koutové svary	0,5 až 3	Nepřípustné
			Maximální rozměr jednotlivého póru pro – tupé svary – koutové svary	> 3	Nepřípustné
1.4	2025	Koncová kráterová staženina		0,5 až 3 > 3	Nepřípustné Nepřípustné
1.5	401	Studený spoj (nedostatečné roztavení)	–	≥ 0,5	Nepřípustné
		Mikroskopický studený spoj	Vada zjištělná pouze zkouškou mikrostruktury.	≥ 0,5	Nepřípustné
1.6	4021	Neprovařený kořen	Pouze pro tupé jednostranné svary. 	≥ 0,5	Nepřípustné
1.7	5011	Souvislý zápal	Je požadovaný plynulý přechod. Nepovažuje se za systematickou vadu.	0,5 až 3	Nepřípustné
	5012	Nesouvislé zápaly		> 3	$h \leq 0,05 t$, ale max. 0,5 mm
1.8	5013	Vrub v kořeni	Je požadován plynulý přechod. 	0,5 až 3 > 3	Nepřípustné Krátké vady: $h \leq 0,05 t$, ale max. 0,5 mm
1.9	502	Nadměrné převýšení tupého svaru	Je požadován plynulý přechod. 	≥ 0,5	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,1 b$, ale max. 5 mm
1.10	503	Nadměrné převýšení koutového svaru		≥ 0,5	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,1 b$, ale max. 3 mm

Číslo	Referenční číslo podle ISO 6520-1	Název vady	Poznámky	t mm	Mezní hodnoty vad
					B
1.11	504	Nadměrné převýšení kořene		0,5 až 3 > 3	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,1 b$ $h \leq 1 \text{ mm} + 0,2 b$, ale max. 3 mm
1.12	505	Strmý přechod svaru	– tupé svary	$\geq 0,5$	$\alpha \geq 150^\circ$
					
			– koutové svary	$\geq 0,5$	$\alpha \geq 110^\circ$
			 $\alpha_1 \geq \alpha$ a $\alpha_2 \geq \alpha$		
1.13	506	Přetečení		$\geq 0,5$	Nepřípustné
1.14	509	Proláklina	Je požadován plynulý přechod.	0,5 až 3	Nepřípustné
	511	Neúplné vyplnění svaru		> 3	Krátké vady: $h \leq 0,05 t$, ale max. 0,5 mm
1.15	510	Díra	–	$\geq 0,5$	Nepřípustné
1.16	512	Nadměrná asymetrie koutového svaru (nadměrně nestejně dlouhé odvěsny)	V případech, kde nebyl předepsán asymetrický koutový svar. 	$\geq 0,5$	$h \leq 1,5 \text{ mm} + 0,15 a$
1.17	515	Hubený kořen	Je požadován plynulý přechod.	0,5 až 3	Nepřípustné
				> 3	

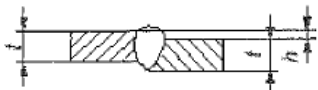
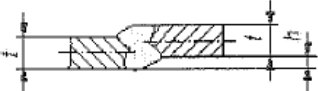
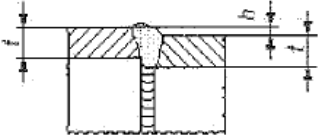
Číslo	Referenční číslo podle ISO 6520-1	Název vady	Poznámky	t mm	Mezní hodnoty vad
					B
1.18	516	Pórovitost kořene	Porézní kořen svaru způsobený tvorbou bublin ve svarovém kovu během tuhnutí (například nedostatečnou plynovou ochranou kořene).	$\geq 0,5$	Nepřipustné
1.19	517	Vadné napojení	—	$\geq 0,5$	Nepřipustné
1.20	5213	Podkročení velikosti koutového svaru	Nepoužitelné u metod s prokázanou větší hloubkou průvalu. 	0,5 až 3	Nepřipustné
				> 3	Nepřipustné
1.21	5214	Překročení velikosti koutového svaru	Skutečná velikost koutového svaru je příliš velká. 	$\geq 0,5$	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,15 a$, ale max. 3 mm
1.22	601	Dotyk elektrodou	—	$\geq 0,5$	Nepřipustné
1.23	602	Rozstřík	—	$\geq 0,5$	Připustnost závisí na použití, například materiálu, ochraně proti korozi.
1.24	610	Náběhové zbarvení (Zabarvení)	—	$\geq 0,5$	Připustnost závisí na použití, například materiálu, ochraně proti korozi.
2 Vnitřní vady					
2.1	100	Trhlina	Všechny druhy trhlin, kromě mikrotrhlin a kráterových trhlin	$\geq 0,5$	Nepřipustné
2.2	1001	Mikrotrhlina	Trhlina obvykle viditelná pouze pod mikroskopem (50 ×)	$\geq 0,5$	Připustnost závisí na druhu základního materiálu a příslušným odkazem na citlivost na trhliny
2.3	2011 2012	Pór Rovnoměrná pórovitost	Musí být splněny následující podmínky a mezní hodnoty vad. Viz také informativní příloha A.		
			a1) Maximální rozměr plochy s vadami (včetně systematické vady) vztažený na promítnutou plochu. POZNÁMKA Pórovitost na promítnuté ploše závisí na počtu vrstev (objemu svaru).	$\geq 0,5$	U jedné vrstvy: $\leq 1 \%$ U více vrstev: $\leq 2 \%$
			a2) Maximální rozměr plochy průřezu s vadami (včetně systematické vady) vztažený na lomovou plochu (použitelné pouze u výrobních zkoušek, zkoušek svářečů a zkoušek postupů svařování)	$\geq 0,5$	$\leq 1 \%$
			b) Maximální rozměr jednotlivého póru pro — tupé svary — koutové svary	$\geq 0,5$	$d \leq 0,2 s$, ale max. 3 mm $d \leq 0,2 a$, ale max. 3 mm

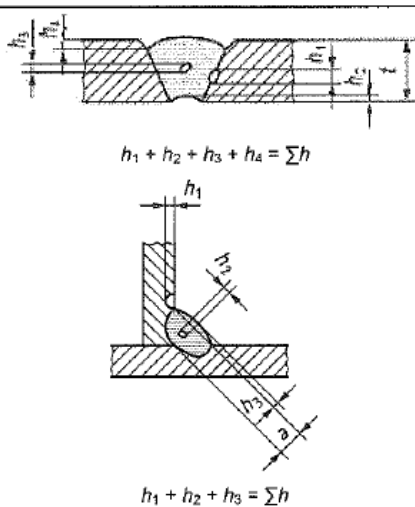
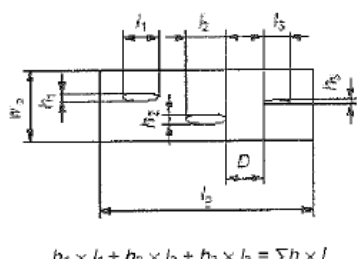
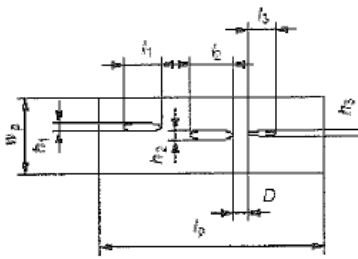
Číslo	Referenční číslo podle ISO 6520-1	Název vady	Poznámky	t mm	Mezní hodnoty vad
					B
2.4	2013	Shluk (místních) pórů	 <p>Referenční délka l_p je 100 mm.</p> <p>Celková plocha pórů ve shluku je určena kruhem o průměru d_A obklopující všechny póry.</p> <p>Požadavek na jednotlivý pór musí být splněn všemi póry v tomto kruhu.</p> <p>Dovolená plocha pórů musí být místní. U shluku pórů se musí vzít v úvahu možnost zakrytí dalších vad.</p> <p>Pokud je D menší než d_{A1} nebo d_{A2}, podle toho která z hodnot je menší, pak celková plocha pórů je určena kruhem průměru d_{AC}, kde $d_{AC} = d_{A1} + d_{A2} + D$.</p> <p>Systematický shluk pórů není přípustný.</p> <p>d_A odpovídá d_{A1}, d_{A2} nebo d_{AC}, podle toho co je použito.</p>	$\geq 0,5$	$d_A \leq 15 \text{ mm}$ nebo $d_{A, \max} \leq w_p/2$
2.5	2014	Řádek pórů	– tupé svary	$\geq 0,5$	$h \leq 0,2 s$, ale max. 2 mm $l \leq s$, ale max. 25 mm
			– koutové svary	$\geq 0,5$	$h \leq 0,2 a$, ale max. 2 mm $l \leq a$, ale max. 25 mm
			 <p>Případ 1 ($D > d_2$)</p> <p>Případ 2 ($D < d_2$)</p> <p>Referenční délka l_p je 100 mm.</p> <p>Pro případ 1: $d_1 = h$</p> <p>Pro případ 2: $d_1 + d_2 + D = h$</p>		

Číslo	Referenční číslo podle ISO 6520-1	Název vady	Poznámky	t mm	Mezní hodnoty vad
					B
2.6	2015 2016	Protáhlý pór Červovitý pór	– tupé svary	$\geq 0,5$	$h \leq 0,2 s$, ale max. 2 mm $l \leq s$, ale max. 25 mm
			– koutové svary	$\geq 0,5$	$h \leq 0,2 a$, ale max. 2 mm $l \leq a$, ale max. 25 mm
2.7	202	Staženina		$\geq 0,5$	Nepřípustné
2.8	2024	Kráterová staženina	 <p>Musi být změřena větší z hodnot h nebo l</p>	0,5 až 3 > 3	Nepřípustné
2.9	300 301 302 303	Pevné vměstky Struskové vměstky Tavidlové vměstky Oxidické vměstky	– tupé svary	$\geq 0,5$	$h \leq 0,2 s$, ale max. 2 mm $l \leq s$, ale max. 25 mm
			– koutové svary	$\geq 0,5$	$h \leq 0,2 a$, ale max. 2 mm $l \leq a$, ale max. 25 mm
2.10	304	Kovové vměstky jiné než měděné	– tupé svary	$\geq 0,5$	$h \leq 0,2 s$, ale max. 2 mm
			– koutové svary	$\geq 0,5$	$h \leq 0,2 a$, ale max. 2 mm
2.11	3042	Měděné vměstky	–	$\geq 0,5$	Nepřípustné
2.12	401	Studený spoj (nedostatečné spojení)		$\geq 0,5$	Nepřípustné
	4011	Studený spoj na svarové ploše			
	4012	Studený spoj mezi housenkami			
	4013	Studený spoj v kořeni			

Číslo	Referenční číslo podle ISO 6520-1	Název vady	Poznámky	t mm	B
2.13	402	Nedostatečný průvar (neprůvar)	 <p>T-spoj (koutový svar)</p>	$> 0,5$	Nepřípustné
			 <p>T-spoj (částečný průvar)</p>	$\geq 0,5$	Nepřípustné
			 <p>Tupý spoj (částečný průvar)</p>	$\geq 0,5$	Nepřípustné
			 <p>Tupý spoj (plný průvar)</p>	$\geq 0,5$	Nepřípustné

3 Vady v geometrii spoje

3.1	507	Lineární přesazení	Mezní hodnoty se vztahují k odchylkám od správné polohy. Pokud není jinak stanoveno, správná poloha je taková, kdy se osy kryjí (viz také kapitola 1). t se vztahuje k menší tloušťce.		
	5071	Lineární přesazení mezi plechy	  <p>Plechy a podélné svary</p>	0,5 až 3 > 3	$h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,1 t$ $h \leq 0,1 t$, ale max. 3 mm
	5072	Příčné kruhové svary ve válcovitých dutých průřezích	 <p>Válcovité svary</p>	$\geq 0,5$	$h \leq 0,5 t$, ale max. 2 mm
3.2	617	Špatné sestavení koutových svarů	Mezera mezi spojovanými částmi. V určitých případech mohou být mezery překračující odpovídající mezní hodnotu kompenzovány odpovídajícím nárůstem velikosti koutového svaru.	0,5 až 3	$h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,1 a$
				> 3	$h \leq 0,5 \text{ mm} + 0,1 a$, ale max. 2 mm

Číslo	Referenční číslo podle ISO 6520-1	Název vady	Poznámky	t mm	B
4 Vícenásobné vady					
4.1	žádné	Vícenásobné vady v libovolném průřezu	 $h_1 + h_2 + h_3 + h_a = \Sigma h$ $h_1 + h_2 + h_3 = \Sigma h$	0,5 až 3 > 3	Nepřípustné Maximální součet výšek vad: $\Sigma h \leq 0,2 t$ nebo $\leq 0,15 a$
4.2	žádné	Promítnutá plocha nebo plocha průřezu v podélném směru	<p>Případ 1 ($D > l_3$)</p>  $h_1 \times l_1 + h_2 \times l_2 + h_3 \times l_3 = \Sigma h \times l$ <p>Případ 2 ($D < l_3$)</p>  $h_1 \times l_1 + h_2 \times l_2 + \left(\frac{h_2 + h_3}{2} \right) \times D + h_3 \times l_3 = \Sigma h \times l$ <p>Součet ploch $\Sigma h \times l$ musí být vypočítán jako procentní podíl z vyhodnocované plochy $l_p \times w_p$ (případ 1).</p> <p>Pokud je D menší než kratší délka jedné ze sousedních vad, musí pro součet vad platit plocha obou vad i společná plocha mezi nimi (případ 2).</p> <p>Viz také informativní příloha A.</p>	$\geq 0,5$	$\Sigma h \times l \leq 4 \%$